

**Instituto Politécnico de Setúbal**



**Escola Superior de Ciências Empresariais**

# **Análise de Riscos nas Indústrias Petroquímicas**

**Atmosferas explosivas**

**Jorge Nobre Chu**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários  
à obtenção do grau de

**MESTRE EM SEGURANÇA E HIGIENE NO TRABALHO**

Orientador: Dr. Filipe José Didelet Pereira

Setúbal, 2014

Aos meus familiares

Aos meus colegas e amigos

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi exclusivamente elaborado por mim, e é o resultado do esforço de muitas pessoas que nem sempre são perceptíveis e muitas vezes esquecidas. Não consigo agradecer a todos de uma forma justa e abrangente, no entanto não ficaria completo sem uma referência a elas.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha esposa Lúcia Chu, por ser o meu pilar, a amiga e companheira de toda a minha vida. Sem o seu apoio, não me teria sido possível chegar a onde cheguei.

Aos meus professores, gostaria de uma forma generalizada, agradecer pelo modo como nos transmitiram os saberes e os conhecimentos.

Ao professor Dr. Filipe José Didelet Pereira, o meu orientador desta monografia, agradeço pela disponibilidade, competência científica, e sugestões relevantes efetuadas na feitura desta dissertação.

Por último, uma palavra de reconhecimento ao Eng.º Luís Pereira João (Repsol Polímeros), pela sua dedicação e disponibilidade, na colaboração do estudo de caso na Repsol.

A todos o meu muito obrigado

## EPÍGRAFE

Se queres prever o futuro, estuda o passado.  
(Confúcio)

## RESUMO

São inúmeras as atividades industriais que no seu processo fabril estão presentes substâncias inflamáveis que poderão criar atmosferas potencialmente explosivas sob a forma de gases ou vapores. Segundo a diretiva ATEX dever-se-á estabelecer áreas de risco, onde deveram ser adotadas precauções especiais para evitar a ignição ativa e a permanência da concentração dos gases no local.

Esta dissertação estuda os fenómenos da criação de atmosferas explosivas e respetivas consequências inerentes ao mesmo. Segundo as Diretrizes Europeia 94/9/CE (ATEX 95) e 1999/92/CE (ATEX 137), que Portugal já transpôs através do Decreto-Lei n.º 112/96 e Decreto-Lei n.º 236/2003 respetivamente.

A análise das substâncias inflamáveis, a localização das fontes de emissão e zonamento. Neste estudo foi aplicada a Norma Europeia EN 60079, para segurança e classificação de áreas incluindo as extensões da zona, em que a parte 10-1 trata das atmosferas explosivas gasosas, e a parte 10-2 das atmosferas com poeira combustível.

Nos locais onde possam existir grandes quantidades de poeiras combustíveis em concentrações perigosas de gases ou vapores inflamáveis, dever-se-ão equacionar a probabilidade de risco de explosão exponenciado pelas poeiras. Colocando em causa a integridade física dos trabalhadores como resultado dos efeitos incontrolados de detonações ou deflagrações das chamas e da pressão causadas pela expansão dos gases abrupta.

Foi efetuado um estudo de caracterização de áreas de risco junto ao Reator de Polimerização de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), onde são apresentados as propriedades básicas das substâncias envolvidas no processo, os critérios para a classificação de áreas e diversos tipos de equipamentos elétricos e não elétricos para as áreas classificadas e uma análise de risco, baseado nos dados obtidos da caracterização.

Palavras-chave: Risco, Analises de Riscos, ATEX, Segurança no Trabalho.

## ABSTRACT

There are numerous industrial activities in its manufacturing process where flammable substances are present that may create a potentially explosive atmosphere in the form of gases or vapours. The ATEX directive will establish risk areas where special precautions should be taken to prevent the ignition and concentration of gas in the area.

This dissertation studies the phenomena of creating an explosive atmosphere and the consequences inherent to it. According to the European Directives 94/9/EC (ATEX 95) and 1999/92/EC (ATEX 137), which Portugal has adopted by Decree-Law no. 112/96 and Decree-Law no. 236/2003 respectively.

The analysis of the flammable substances, the location of emission sources and zoning in this study was applied to European Standard EN 60079, for the safety and classification of areas and including extensions of the zone Part 10-1 explosive gas atmosphere and Part 10 - 2 combustible dust atmospheres.

In places where there may be large amounts of combustible dusts in hazardous concentrations of flammable gases or vapours, would equate the probability with the risk of explosion increased by the presence of dust. Putting in jeopardy the physical safety of workers as a result of uncontrolled detonations and the pressure caused by the abrupt expansion of gases.

A study on the elements of risk areas along with the Reactor Polymerization of High Density Polyethylene (HDPE), which lists the basic properties of the substances involved in the process, the criteria for classifying areas and the various types of electrical equipment, was made along with nonelectric for classified areas and a risk analysis based on data obtained from this study.

Keywords: Risk, Risk Analysis, ATEX, Safety at Work

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>II</b>
<b>EPÍGRAFE .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>1 OBJETIVOS E METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	3
1.2 ENQUADRAMENTO .....	4
1.3 JUSTIFICAÇÃO DO TEMA .....	4
1.4 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS .....	5
1.5 METODOLOGIA .....	6
1.6 SÍNTESE DOS CAPÍTULOS .....	7
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	8
2.2 DEFINIÇÕES .....	8
2.3 PROTEÇÃO CONTRA EXPLOSÕES .....	9
2.3.1 <i>Explosões</i> .....	9
2.3.2 <i>As bases para uma explosão</i> .....	15
2.4 ANÁLISE DE EFEITOS E CONSEQUÊNCIA .....	25
2.4.1 <i>Fogo</i> .....	29
2.4.2 <i>Nuvens de vapor explosivas</i> .....	31
2.4.3 <i>BLEVE – Explosão dos vapores da ebulição dos líquidos</i> .....	32
2.5 CAUSAS DA DESTRUIÇÃO .....	33
2.5.1 <i>Instalações e equipamentos</i> .....	33
2.5.2 <i>Ignição</i> .....	34
2.6 PRINCÍPIOS DE PROTEÇÃO .....	39
2.6.1 <i>Análise dos riscos</i> .....	39
2.6.2 <i>Gestão de riscos – Princípios e diretrizes NP ISO 31000</i> .....	41

2.6.3	<i>Técnicas de avaliação de riscos, EN 31010</i>	42
2.6.4	<i>Prevenção e proteção de explosões, EN 1127-1:2007</i>	49
2.7	ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO	52
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>55</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIAS</b>	<b>55</b>
3.1	INTRODUÇÃO	55
3.2	METODOLOGIAS PARA AMBIENTES EXPLOSIVOS	56
3.2.1	<i>Avaliação de riscos de atmosferas explosivas (ARIA)</i>	56
3.2.2	<i>Avaliação de riscos de atmosferas explosivas (ASL Milão)</i>	65
3.2.3	<i>Critérios gerais para a avaliação de riscos de explosão (Repsol)</i>	70
3.2.4	<i>Classificação de áreas perigosas</i>	71
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>89</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO “REATOR DE POLIMERIZAÇÃO”</b>	<b>89</b>
4.1	APRESENTAÇÃO DOS DADOS	90
4.1.1	<i>Classificação de área perigosa</i>	91
4.1.2	<i>Substâncias inflamáveis</i>	92
4.1.3	<i>Fontes de emissão</i>	93
4.1.4	<i>Fontes de Ignição</i>	93
4.1.5	<i>Dados da fonte de emissão do reator R-2001</i>	94
4.1.6	<i>Dados da análise de riscos</i>	99
<b>5</b>	<b>LIMITAÇÕES</b>	<b>102</b>
<b>6</b>	<b>PROPOSTA DE MELHORIA COM BASE NOS DADOS OBTIDOS</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>UTILIDADE CIENTÍFICA</b>	<b>103</b>
<b>CONCLUSÃO</b>		<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>105</b>
<b>APÊNDICE A</b>		<b>107</b>
<b>APÊNDICE B</b>		<b>110</b>
<b>APÊNDICE C</b>		<b>114</b>
<b>ANEXO A</b>		<b>140</b>
<b>ANEXO B</b>		<b>147</b>
<b>ANEXO C</b>		<b>150</b>
<b>ANEXO D</b>		<b>152</b>



## ÍNDICE DE QUADROS

TABELA 1 EFEITOS DAS EXPLOSÕES (ADAPTADO DE R. KARL ZIPF, JR., NIOSH-125).....	11
TABELA 2 – COEFICIENTE DE DESCARGA (FONTE: CEI – 31-35) .....	21
TABELA 3 - ACIDENTES INDUSTRIAIS – CUSTOS (FONTE: IRCE) .....	27
TABELA 4 - ACIDENTES INDUSTRIAIS - VITIMAS MORTAIS (FONTE: IRCE) .....	27
TABELA 5 - ACIDENTES INDUSTRIAIS - FERIDOS (FONTE: IRCE) .....	28
TABELA 6 - ACIDENTES INDUSTRIAIS - EVACUADOS (FONTE: IRCE).....	28
TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO DE GASES (ADAPTADO DE: DANIEL A. CROWL & JOSEPH F. LOWAR) .....	37
TABELA 8 – TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE .....	38
TABELA 9 EXEMPLO DE PALAVRAS GUIA HAZOP .....	45
TABELA 10 – PROBABILIDADE DE ATMOSFERA EXPLOSIVA ÍNDICE “P” .....	57
TABELA 11 – PRESENÇA DAS FONTES DE IGNIÇÃO ÍNDICE “C” .....	58
TABELA 12 – EFEITOS DA DESTRUIÇÃO ÍNDICE “D” .....	59
TABELA 13 – ÍNDICE “D” .....	60
TABELA 14 – ÍNDICE DA PRESENÇA DE TRABALHADORES.....	60
TABELA 15 – PARÂMETROS DE PÓS MEDIDAS DE PROTEÇÃO .....	63
TABELA 16 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DO RISCO .....	64
TABELA 17 – FONTES DE IGNIÇÃO.....	64
TABELA 18 – FONTES DE LIBERTAÇÃO .....	64
TABELA 19 – NÍVEL DO RISCO.....	64
TABELA 20 - FATOR $P_{EX}$ .....	66
TABELA 21 - FATOR $P_{FI}$ .....	66
TABELA 22 - MATRIZ DO PERIGO .....	66
TABELA 23 - VALOR FINAL DE P .....	67
TABELA 24 - PRESENÇA DE PESSOAS.....	67
TABELA 25 - FATOR $C_{EX}$ .....	68
TABELA 26 - MATRIZ DA CONSEQUÊNCIA .....	68
TABELA 27 - FATOR DA CONSEQUÊNCIA .....	69
TABELA 28 - FATOR DO DANO.....	69
TABELA 29 - MATRIZ DO RISCO .....	69
TABELA 30 - VALORAÇÃO DO RISCO .....	70
TABELA 31 – PROBABILIDADE AR .....	70
TABELA 32 – CONSEQUÊNCIAS AR .....	70
TABELA 33 - MATRIZ DE RISCO .....	71

---

TABELA 34 - NÍVEL DE RISCO .....	71
TABELA 35 – GRAU DE LIBERTAÇÃO .....	73
TABELA 36 – EMISSÕES ESTRUTURAIS.....	74
TABELA 37 – VÁLVULAS DE SEGURANÇA, EMISSÕES ESTRUTURAIS .....	74
TABELA 38 DIÂMETRO DO FURO DE LIBERTAÇÃO NORMALIZADO .....	75
TABELA 39 – INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO NO TIPO DE ZONA .....	77
TABELA 40 – PROBABILIDADES DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS EM ZONAS CLASSIFICADAS.....	78
TABELA 41 – COEFICIENTE DE PRESSÃO (FONTE: CEI 31-35) .....	84
TABELA 42 – VOLUME ESTENDIDO (FONTE: CEI 31-35) .....	88
TABELA 43 – FONTES DE IGNIÇÃO.....	94
TABELA 44 – CARACTERISTICAS DO AR .....	94
TABELA 45 – CARACTERISTICAS DA SUBSTÂNCIA INFLAMÁVEL .....	95
TABELA 46 – CARACTERÍSTICA DA FONTE DE EMISSÃO.....	95
TABELA 47 – DADOS DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMAVEIS .....	96
TABELA 48 - ESTIMATIVA DO GRAU DE VENTILAÇÃO .....	97
TABELA 49 – RESUMO DAS ÁREAS DE RISCO .....	98
TABELA 50 – ANÁLISE DE RISCO PARCIAL .....	100
TABELA 51 – ANÁLISE DE RISCO ARIA .....	100
TABELA 52 – DADOS DE EXPLOSIVIDADE .....	101
TABELA 53 – DADOS DO VOLUME VEX.....	101
TABELA 54- ANÁLISE DE RISCO ASL .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPARAÇÃO DOS LIMITES DE INFLAMABILIDADE .....	14
FIGURA 2 - PENTÁGONO DA EXPLOÇÃO (POEIRAS) .....	14
FIGURA 3 - TRIÂNGULO DO FOGO .....	16
FIGURA 4 - TETRAEDRO DO FOGO .....	18
FIGURA 5 - CICLO DE VIDA DO FOGO .....	19
FIGURA 6 – GRÁFICO DE CAUSA DE ACIDENTES (FONTE: GARRISON 1988) .....	25
FIGURA 7 – CONSEQUÊNCIA DE LIBERTAÇÃO ACIDENTAL DE SUBSTÂNCIAS COMBUSTÍVEIS.....	26
FIGURA 8 GRÁFICO DE ACIDENTES INDUSTRIAIS (FONTE: IRCE) .....	29
FIGURA 9 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MIC .....	37
FIGURA 10 PORMENOR DO MSG (FONTE: NFPA) .....	38
FIGURA 11 – RELACIONAMENTOS DA COMUNICAÇÃO E CONSULTA (ADAPTADO NP ISO 31000) .....	42
FIGURA 12 – RESUMO HAZOP (ADAPTADO: EN 31010) .....	45
FIGURA 13 – RESUMO FMEA (ADAPTADO: EN 31010) .....	47
FIGURA 14 – ESTRUTURA GRÁFICA FTA (ADAPTADO: EN 31010) .....	47
FIGURA 15 – EXEMPLO DE UMA ÁRVORE DE EVENTOS (ADAPTADO: EN 31010) .....	48
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DE RISCO ATEX (ADAPTADO: EN 31010) .....	56
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DE IDENTIFICAÇÃO E PREVENÇÃO DE EXPLOÇÃO (ADAPTADO: EN 31010) .....	62
FIGURA 18 – COTA “A” .....	81
FIGURA 19 – EXTENSÃO PARA DENSIDADES IDÊNTICAS AO AR (FONTE: CETIB) .....	81
FIGURA 20 – EXTENSÃO PARA DENSIDADES MAIS PESADAS QUE O AR (FONTE: CETIB) .....	81
FIGURA 21 – EXTENSÃO PARA DENSIDADES MAIS LEVES QUE O AR (FONTE: CETIB) .....	82
FIGURA 22 – EXTENSÃO POR EFEITO DA APROXIMAÇÃO DO CHÃO OU PAREDE (FONTE: CETIB) .....	82
FIGURA 23 – ÁREAS COM DOIS TIPOS DE ZONAS (FONTE: CEI 31-35).....	83
FIGURA 24 – ABERTURAS DA EDIFICAÇÃO (FONTE: CEI 31-35) .....	84
FIGURA 25 - PRINCIPAIS UNIDADES E PROCESSOS NA REPSOL (FONTE: REPSOL) .....	89

## LISTA DE SIGLAS

- ACT: Autoridade para as Condições do Trabalho.
- ARIA: Análise de Riscos Industriais e Ambiente.
- ASL: Autoridade de Saúde de Local (Milão)
- ATEX: Atmosferas Explosivas.
- BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion.
- CEE: Comunidade Económica Europeia.
- CE: Comissão Europeia.
- DL: Decreto-lei.
- ETA: Event Tree Analysis.
- EPC: Equipamento de proteção coletivo.
- EPI: Equipamento de proteção individual.
- EN: Norma Europeia.
- FMEA: Failure Mode and Effect Analysis.
- FMECA: Failure Mode and Effect Criticality Analysis.
- FTA: Fault Tree Analysis.
- HAZOP: Hazard and Operability Studies.
- IEC: International Electrotechnical Commission
- ISO: International Organization for Standardization.
- IRCE: International Review of Chemical Engineering
- MESG: Maximum Experimental Safe Gap.
- MIC: Minimum Ignition Current.
- MIE: Minimum Ignition Energy.
- NP: Norma Portuguesa.
- OIT: Organização Internacional do Trabalho.
- OSHA: Occupational Safety and Health Administration.
- SST: Segurança e Saúde no Trabalho.

## INTRODUÇÃO

A segurança nas Indústrias Petroquímicas têm vindo a ser alvo de muitos estudos ao longo dos últimos anos, muito deles tiveram origem em grandes acidentes como a da indústria química ICMESA em Seveso na Itália (10 de Junho de 1976). Este incidente levou a União Europeia a publicar a Diretiva Seveso (Diretiva 2012/18/EU), mas a história dos grandes acidentes não fica por aqui realçando-se em Flixborough (Inglaterra), uma explosão de nuvem de vapor de ciclo-hexano (1 Junho 1974) que resultou em 28 mortes e 89 feridos; em Beek (Holanda), explosão de nuvem de vapor de Propileno (7 Novembro 1975) origina 14 mortes e 107 feridos; San Carlos (Espanha), explosão de tanque de propileno (11 de Julho de 1978), muitos outros exemplos podíamos realçar, mas foi com acidentes como o de Louisiana em Westwego (USA), uma explosão de poeiras (22 de Dezembro de 1977), 36 mortos e 9 feridos; e na Georgia em Port Wentworth (USA), explosão de poeiras (7 de Fevereiro de 2008) que se começou a levar em consideração os riscos inerentes às poeiras. Com o estudo destes tipos de desastres, foram elaboradas diretivas, normas, procedimentos e guias de boas práticas, o que leva a reduzir muito substancialmente, os riscos de acidentes graves (por exemplo as Diretivas Seveso e ATEX). No entanto mesmo com todas estas medidas, o sector Industrial Petroquímico continua a ser um local de trabalho perigoso. Felizmente estes tipos de eventos não são as causas mais frequentes de acidentes no trabalho. As estatísticas do GEP (Gabinete de Estratégia e Planeamento) mostram que os acidentes de trabalho (2000 – 2010) na Indústria transformadora tem vindo a baixar anualmente em média cerca de 3,64% (CAE Rev. 3 – C) e nos acidentes de trabalho na Fabricação de artigos de borracha, matérias plásticas cerca de 2% (CAE Rev. 3 – C22).

Os acidentes mortais em Portugal (segundo o GEP), mesmo considerando o que representam para a sociedade, e para as empresas em particular, têm visto o seu número a ser reduzido face ao total dos acidentes ocorridos. O número total de acidentes apurados em 2010 foi de 57300, dos quais apenas 27 foram mortais (0,047%).

Portugal, apesar da carência de indicadores reveladores da extensão do índice de mortalidade em acidentes laborais, regista com os dados que vão sendo divulgados, mesmo com consideráveis atrasos, um dos índices de maior sinistralidade laboral na União Europeia.

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) refere que os acelerados progressos tecnológicos e as agressivas políticas de competitividade dão origem a mudanças nas

condições e processos de trabalho, assim como, nas organizações de trabalho (OIT, 2002). A atividade humana está sempre associada a riscos, sendo estes de diferentes níveis, num confronto diário com a difícil tarefa de aceitação destes mesmos riscos a que somos expostos mesmo sem pensar nelas.

Assim, o conceito de segurança é relativo, mas podemos perfeitamente abraçar o termo de risco aceitável. Neste âmbito quando nos deparamos com uma situação considerada segura, esta não está isenta de riscos mas sim com um nível de risco considerado aceitável.

A avaliação de riscos, constitui a base da gestão da segurança e saúde no trabalho (SST), sendo imprescindível para a redução dos incidentes no trabalho e das doenças profissionais. Se a metodologia utilizada for a adequada e executada corretamente, a avaliação de riscos torna-se uma ferramenta muito útil para a melhoria da SST.

Neste contexto, iniciou-se um processo de atualização legislativo por volta dos anos 80, através de um conjunto de Convenções da OIT (Convenção Nº 155 e Recomendação Nº 164) já na década de 90, a transposição de Diretivas Comunitárias de prescrições mínimas de segurança e saúde do trabalho e de requisitos essenciais de segurança, como por exemplo a Diretiva Quadro 89/391/CEE alterada pela Diretiva nº 2007/30/CE do Conselho de 30 de Junho relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho.

Muito embora estejam definidos os contextos em que a atividade se desenvolve e identificados alguns dos processos e técnicas de avaliação a levar a cabo no âmbito dos serviços de segurança, higiene e saúde do trabalho refletidos na Lei n.º 102/2009, de 10 de Setembro, “A prevenção dos riscos profissionais deve assentar numa correta e permanente avaliação de riscos e ser desenvolvida segundo princípios, políticas, normas e programas...” (n.º 3 do art.º 5 da Lei 102/2009) não cabe a este diploma legal definir todos os conteúdos que tal atividade requer, assim é remetido para a doutrina e normalização técnica a definição das metodologias necessárias para materializar os objetivos propostos ao empregador Cabendo ao “empregador” assegurar ao trabalhador as condições de segurança e de saúde em todos os aspetos do seu trabalho.” (n.º 2 do art.º 281 da Lei n.º 07/2009, n.º 1 do art.º 15 da Lei 102/2009).

## CAPÍTULO I

### 1 OBJETIVOS E METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO

#### 1.1 INTRODUÇÃO

A instalação de um complexo industrial, em Sines, na década de 70 e com uma forte componente de transformação petrolífera, fez do concelho um local com particulares desafios (tanto no âmbito dos riscos profissionais, como ambientais) na prevenção de acidentes por explosões.

A segurança das instalações industriais petroquímicas é uma parte importante das operações das empresas. Normas Internacionais de segurança para petroquímicas e políticas de gestão de segurança da empresa, auxiliam a que seja integrado na sua gestão empresarial métodos de gestão de riscos (onde se inclui as análises dos perigos, as revisões dos processos existentes e propostas de melhoria às operações a serem realizadas). Os limites das substâncias perigosas citados tanto pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA) como pela Agência de Proteção Ambiental, ditam o emprego dos elementos de gestão de segurança dos processos de fabrico em quase todas as áreas da empresa de transformação petrolífera ou de produtos químicos. Estas diretrizes são destinadas a reduzir a probabilidade e as consequências de um incidente grave que teria um impacto prejudicial no bem-estar dos seus funcionários, nas instalações ou nas zonas circundantes às instalações, do meio ambiente, e não menos importante para a própria empresa a reação adversa do público em geral e, portanto, o prestígio da empresa pode sofrer danos irreparáveis ou consideráveis na sua imagem de empresa segura.

Esta insegurança à volta das indústrias transformadoras em que maioritariamente a sua matéria-prima é composta por substâncias combustíveis e inflamáveis, levanta a incerteza de como poderá ser encarada pelos responsáveis desta matéria, o controlo e a delimitação das possíveis atmosferas explosivas derivadas dos seus processos de transformação, levando à seguinte pergunta de partida “os gestores industriais têm a perceção real dos perigos de explosão e riscos existentes de atmosferas explosivas nas suas instalações, baseadas em dados técnicos adequados às instalações e ao seu processo de fabrico?”.

É neste contexto a pertinência deste trabalho, a verificação da adequação da metodologia de identificação de perigo de atmosferas explosivas e classificação de áreas, análise e avaliação de riscos, definidas na Indústria Petroquímica Repsol no âmbito da Diretiva ATEX.

Neste sentido, pretende-se fornecer um contributo para o desenvolvimento de critérios e recomendações, que poderão servir de suporte aos responsáveis industriais abrangidos, no cumprimento das suas respetivas obrigações em termos da avaliação do risco de explosão decorrente da atividade desenvolvida nas suas empresas.

Fornecendo uma reflexão a partir de requisitos apreendidos durante o percurso académico e profissional, com o intuito de que esta seja aproveitada pelos responsáveis e gestores das empresas industriais.

## 1.2 ENQUADRAMENTO

O processo de análise de riscos em atmosferas explosivas não se destina a identificar os incidentes menores. Estes são da responsabilidade dos requisitos gerais de segurança da empresa e estão normalmente bem estabelecidos. O processo de análise de risco em atmosferas explosivas procura os incidentes que têm o potencial de impactos fortes.

Em caso de explosão, a integridade física dos trabalhadores é ameaçada devido à variação abrupta da pressão (detonação) e aos efeitos consequentes das chamas. Os danos causados às estruturas dão origem a novos perigos (colapso estrutural). Por todos estes motivos, a proteção e prevenção de explosões que tenham origem em atmosferas explosivas, torna-se uma preocupação primordial da segurança, sendo necessária a implementação de medidas técnicas e organizacionais de acordo com as características do processo e do local de trabalho.

O objeto deste estudo foi a compreensão e implementação nas indústrias petroquímicas da diretiva ATEX (Atmosferas Explosivas), em relação à análise de riscos em empresas na área da petroquímica, por forma às mesmas minimizarem os riscos existentes, mediante a adoção de diferentes medidas de controlo.

## 1.3 JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

Muitos acidentes são atribuídos ao erro humano ou a fatores humanos, referindo-se geralmente à negligência ou distração do trabalhador. Mas o problema não é tão simplista quanto isso. Assim esta abordagem tem sofrido mudanças na medida em que se compreende



melhor o cerne da questão. Já Perrow (1984) tem a opinião de que os erros são consequências necessárias e rigorosamente corretas de premissas inadequadas.

Em geral, toda a falha decorre de uma decisão humana, denominado por “falha técnica” que não é mais do que o um aglomerar de decisões anteriores, decisões críticas que, às vezes, fazem parte da fase de projeto assim como do cotidiano da produção de um sistema complexo.

Neste contexto, surgiu a ideia de desenvolver o presente trabalho com o intuito de contribuir, de uma forma sustentável, para alertar as empresas transformadoras petrolíferas, no que respeita a questões ligadas à segurança respeitante aos perigos da ocorrência de explosão de atmosferas explosivas.

Este trabalho propõe-se à compreensão e análise da Diretiva ATEX, que foi transporta para a ordem jurídica nacional os Decreto-Lei n.º 236/03 e Decreto-Lei n.º 112/96. Explorando as condições físicas, as estruturas e equipamentos de processo, com o seu foco nas escolhas dos materiais, equipamentos e sistemas adequados como ponto crucial na prevenção de acidentes graves de explosões.

Pretende-se dar um contributo para a prevenção de atmosferas explosivas, o diagnóstico de possíveis fontes de libertação e ignição, classificação de áreas de intervenção nesta matéria. Com potenciais aplicações na prevenção dos acidentes graves, assim como para o desenvolvimento de novas pesquisas, no contexto da diretiva ATEX.

#### 1.4 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esta investigação tem como objetivo geral o estudo da adequação da metodologia de análise de riscos para as atmosferas explosivas nas Industrias Petroquímicas, com base nas técnicas de análise de risco descritas na IEC/ISO 31010, que permitirá determinar a melhor adequação e monitorização das atmosferas explosivas ao longo dos processos de transformação do petróleo, seguindo as Diretivas ATEX.

Como objetivos específicos temos:

- Analisar a adequação dos métodos de identificação do perigo da existência de atmosferas explosivas e a respetiva avaliação de riscos;
- Determinar a abrangência das identificações de perigos;
- Determinar a adequação da classificação das áreas perigosas e a seleção de equipamentos utilizados nas respetivas zonas.

O âmbito deste trabalho está limitado ao complexo industrial Petroquímico da Repsol, que forneceu recursos humanos e documentais. Os elementos fornecidos pela empresa foram trabalhados com a observância criteriosa das seguintes Normas: NP ISO 31000:2013 (Gestão do risco. Princípios e linhas de orientação), EN 31010:2010 (Gestão de riscos - Técnicas de avaliação de riscos), Diretiva 1999/92/CE (Decreto Lei n.º 236/2003) no que diz respeito às prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores suscetíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas e Diretiva 1994/9/CE (Decreto Lei n.º 112/1996) relativa à aproximação das legislações dos Estados membros sobre aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, conhecidas como Diretivas ATEX, EN 60079-10-1:2009 (Atmosferas explosivas. Parte 10-1: Classificação das áreas - Atmosferas explosivas gasosas), EN 60079-10-2:2009 (Atmosferas explosivas. Parte 10-2: Classificação das áreas - Atmosferas com poeira combustível), CEI 31-35 (Guia de classificação de lugares com perigo de explosão pela presença de gases em aplicação da norma EN 60079-10-1), CEI 31-56 (Guia de classificação de lugares com perigo de explosão pela presença de poeiras combustíveis em aplicação da norma EN 60079-10-2).

### 1.5 METODOLOGIA

O método utilizado foi o da observação direta, recorrendo a fatos e seus registos documentais, avaliações existentes e evidências.

A recolha dos dados realizou-se de forma presencial e por disponibilização em suporte eletrónico. E ainda através de pesquisa, quer a nível da União Europeia, quer a nível mundial, recorrendo a referências bibliográficas da área, tais como, obras e artigos científicos, relatórios, documentos legais, relatórios de segurança e normas para a sistematização de metodologias existentes ao nível da avaliação dos riscos.

## 1.6 SÍNTESE DOS CAPÍTULOS

Para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação, foi elaborado uma estrutura em quatro capítulos:

O capítulo I apresenta os objetivos e a metodologias desta dissertação, abordando o enquadrando e justificando o tema.

O capítulo II apresenta uma revisão da literatura com conceitos básicos necessários para a avaliação de atmosferas explosivas, onde se aborda as substâncias inflamáveis e a proteção contra explosões, com conceitos sobre inflamação de gases, detonação e deflagração. Noções de explosões de poeiras e gases. Noções básicas das reações químicas do fogo, incluindo o triângulo, tetraedro e o ciclo de vida do fogo. Os derramamentos de substâncias acidentais e estruturais dos gases comprimidos e líquidos, as análises de efeitos e consequências do fogo, nuvens explosivas, BLEVE e suas causas da destruição, assim como as fontes de ignição. Noções de análise e gestão de riscos e, por fim, uma revisão do enquadramento legal e normativo.

O capítulo III trata da metodologia a ser utilizado no estudo de caso para a classificação de áreas e análise de riscos, apresentando critérios de seleção segundo a legislação e normas Portuguesas, Europeias e Internacionais.

O capítulo IV apresenta um estudo de caso na indústria petroquímica, com a elaboração de uma classificação de área junto ao reator de polimerização, e a respetiva análise de riscos. Fala-se das limitações encontradas, e também sobre propostas de melhoria, a sua utilidade científica e, por fim, a conclusão.

## CAPÍTULO II

### 2 REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é abordado o suporte teórico onde se fez uma revisão bibliográfica ao estado da arte na análise de riscos em atmosferas explosivas, e uma revisão legal do seu enquadramento.

Caracterizadas as obrigações legais, são comparadas metodologias de gestão de riscos, selecionando justificadamente aquela que será usada no decorrer do estudo de caso. Após a análise pormenorizada do ambiente fabril, descrevem-se os principais parâmetros que devem ser medidos e que são importantes para a determinação da avaliação das atmosferas explosivas.

#### 2.2 DEFINIÇÕES

Existindo definições legais dos conceitos, que são apresentadas, sem prejuízo de se poderem considerar outras definições, que concretizam uma definição genérica para matéria específica, ou outras ainda que se afigurem com interesse e que não contrariem a definição legal.

*Avaliação do Risco* – Processo de avaliação do(s) risco(s), resultante(s) de um perigo(s), tendo em consideração a adequação de quaisquer controlos já existentes e de decisão sobre se o risco é ou não aceitável. (OHSAS 18001:2007)

*Risco* – A probabilidade de concretização do dano em função das condições de utilização, exposição ou interação do componente material do trabalho que apresente perigo (art.º 4º/h da Lei n.º 102/2009, de 10 de Setembro).

*Risco Aceitável* – Risco que foi reduzido a um nível que possa ser tolerado pela organização, tomando em atenção as suas obrigações legais e a sua própria política de SST. (OHSAS 18001:2007)

*Substâncias perigosas* – As substâncias ou preparações classificadas segundo uma das seguintes categorias: explosivas, comburentes, extremamente inflamáveis, facilmente inflamáveis, inflamáveis, muito tóxicas, tóxicas, nocivas, corrosivas, irritantes,

sensibilizantes, cancerígenas, mutagénicas, tóxicas para a reprodução e perigosas para o ambiente. (Regulamento (CE) N.º 1272/2008, de 16 de Dezembro de 2008).

*Área perigosa* – Uma área na qual se pode formar uma atmosfera explosiva em concentrações que exijam a adoção de medidas de prevenção especiais a fim de garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores abrangidos (artigo 3º /b do Decreto-lei n.º 236/2003, de 30 de Setembro).

*Área não perigosa* – Uma área em que não é provável a formação de atmosferas explosivas em concentrações que exijam a adoção de medidas preventivas especiais (artigo 3º /c do Decreto-lei n.º 236/2003, de 30 de Setembro).

*Atmosfera explosiva* – Uma mistura com o ar, em condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis sob a forma de gases, vapores, névoas ou poeiras, na qual, após ignição, a combustão se propague a toda a mistura não queimada (artigo 3º /d do Decreto-lei n.º 112/1996, de 5 de Agosto).

*Zonas* – Uma área perigosa ou classificada, na qual são divididas em zonas, baseadas na frequência da ocorrência e duração de uma atmosfera explosiva de gás, vapor nevoas ou poeira (Dir. 1999/92/CE).

## 2.3 PROTEÇÃO CONTRA EXPLOSÕES

Segundo a norma Europeia, EN 1127-1, uma explosão é definida como uma reação abrupta envolvendo uma rápida oxidação física ou química ou reação de decomposição que produz um aumento de temperatura ou pressão, ou ambas ao mesmo tempo. As reações mais conhecidos são as dos gases, vapores ou poeiras com o oxigênio contido no ar.

Estas reações são um dos fatores que mais ameaça a segurança nas indústrias, plataformas petrolíferas, refinarias e petroquímicas. Em que muitos dos acidentes ocorridos são originados por uma má gestão do risco, devido à carência de informação especializada nesta matéria, aumentando assim o risco de explosões.

### 2.3.1 EXPLOSÕES

Segundo Sickler (1992), algumas substâncias temidas, mal utilizadas, e menos compreendidas da terra são os materiais energéticos. No sentido mais amplo os materiais energéticos podem abranger tudo, desde os combustíveis até aos explosivos.

Energia esta quando libertada descontroladamente, pode provocar incêndio ou explosão. A principal distinção entre incêndios e explosões está na taxa de libertação de energia. Isto é os incêndios libertam energia lentamente, enquanto as explosões libertam a energia abruptamente, tipicamente na ordem dos microssegundos. A energia libertada em forma de incêndio pode resultar numa explosão assim como explosões podem resultar em incêndios. A explosão é uma expansão dos gases abrupta, resultando numa pressão que se move rapidamente (sob a forma de onda de choque). Esta expansão pode ser de origem mecânica (por meio da rutura súbita de um recipiente pressurizado), ou pode ser o resultado de uma reação química exotérmica. Esta reação provoca consequentemente o aumento do seu volume, originado pela rápida oxidação da atmosfera inflamável, o que leva à libertação de uma grande quantidade de energia, atingindo altas temperaturas. Esta grande produção de gases é que provoca a onda de pressão em torno do local do incidente. A esta onda de choque tanto por deflagração como por detonação é atribuída a origem dos maiores danos físicos provocados pela explosão. Lewis e Von Elba (1987) descrevem a teoria da detonação, que pode ser utilizado para prever as propriedades da onda de choque e a pressão de pico. Lees (1986) diz que a pressão de pico para uma detonação, numa contenção inicialmente à pressão atmosférica pode ser cerca de 20 bar (um aumento de 20 vezes). A amplitude de uma explosão depende de muito de fatores como: a temperatura, a pressão do ambiente, a composição da substância e as propriedades físicas, o tipo e a duração da energia de ativação, o espaço envolvente (confinado ou aberto), a quantidade e a escala em que a substância é libertada.

### 2.3.1.1 GASES

Brown (2011) As propriedades observáveis comuns a todos os gases são: a expansão dos gases preenche todo o volume de um recipiente, a sua densidade é mais baixa que os sólidos ou líquidos e variam dependendo das condições, os gases misturam-se espontaneamente uns com os outros e alteram o seu volume drasticamente com a mudança de temperatura.

A oxidação inicia-se quando uma fonte de energia ativa está presente numa atmosfera explosiva, levando à quebra das ligações das moléculas afetadas, provocando a sua decomposição e a consequente libertação de energia, propagando o efeito às moléculas adjacentes, instigando o efeito de “Reação em cadeia”, levando a um aumento da pressão pelo aumento brusco da quantidade de gases, o que dá a origem à “onda de choque”, com

propagação radial e centrífuga, decrescendo a sua velocidade a partir do ponto de ignição. Estas explosões são classificadas em ondas subsônicas (deflagração), e ondas supersônicas (detonação).

A deflagração (uma explosão na qual a frente de reação move-se a uma velocidade inferior à velocidade do som) é um processo de combustão subsônico que normalmente se propaga através de condutividade térmica (a camada de matéria que está em combustão aquece a camada de matéria vizinha, mais fria, que então sofre a ativação) enquanto na detonação (uma explosão na qual a frente de reação move-se a uma velocidade superior à velocidade do som) o processo de combustão supersônico liberta a energia da zona inicial de reação a todo o material inflamável na forma de uma onda de choque comprimindo as moléculas do material, elevando sua temperatura até o ponto de ignição.

Devido às altas pressões desenvolvidas, as detonações são muito mais destrutivas que as deflagrações e os seus efeitos dividem-se em: fisiológicos (ao nível de olhos, tímpanos, pulmões, coração, etc.), térmicos (aumento de temperatura provocado pela libertação de energia) e mecânicos (projeções de materiais, por arrastamento ou por destruição).

Os efeitos das explosões nas pessoas e nas estruturas podem ser observados nas seguintes tabelas:

Nas Pessoas	
Pressão (bar)	Efeitos
0,35	Limite para a rutura dos tímpanos
0,7 – 0,85	Limite para danos nos pulmões
1,05 – 1,4	Rutura dos tímpanos em 50% dos casos
2,11 – 2,95	Limite mortal
2,95 – 4	Morte para 50% dos casos
4 – 5	Morte para 100% dos casos
Nas Estruturas	
Pressão (bar)	Efeitos
< 0,07	Quebra de vidros
0,07 – 0,15	Destruição de cobertura de naves industriais
0,17 – 0,25	Remoção de Batentes
0,2 – 0,30	Esmagamento de tanques
0,35 – 0,5	Rutura de estruturas de madeira
0,6 – 0,9	Destruição de prédios
0,7 – 2	Rutura estruturas de concreto

**TABELA 1 EFEITOS DAS EXPLOSÕES** (ADAPTADO DE R. KARL ZIPF, JR., NIOSH-125)

As frentes de pressão produzidas por detonações e deflagrações são tipicamente diferentes, enquanto a detonação produz uma frente de choque, com um aumento abrupto de pressão

máxima superior a 10 atmosferas e uma duração total menor do que 1 milissegundo a uma velocidade de 2000 m/s. A deflagração têm uma frente de pressão resultante mais longa (muitos milissegundos de duração), plano (sem uma frente de choque brusca), a velocidade da chama propaga-se a 1 m/s chegando a atingir de 500-1000 m/s dependendo da pressão máxima (normalmente 1 ou 2 atmosferas).

Uma explosão projeta tipicamente uma bola de fogo de cerca de oito vezes maior do que o volume que a originou.

Para se prever o efeito das deflagrações de uma determinada matéria (gás ou pó), realizam-se testes em laboratório de ambiente controlado (volume típico 10L) para que não seja necessário realizar em grande escala. À taxa máxima do aumento de pressão encontrada designa-se por  $K_G$  ou  $K_{ST}$  e pode ser determinado pela seguinte equação:

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} \left(V^{\frac{1}{3}}\right) = K \quad \text{f.2.3.1}$$

Onde:

$P$  = pressão (bar);

$t$  = tempo (seg.);

$V$  = volume ( $m^3$ );

$K$  = índice  $K_{ST}$  (st deriva do alemão Staub que quer dizer poeira) ou  $K_G$  (bar-m/s).

Um valor de  $K_G$  para um gás inflamável pode ser estimado através de um outro gás com um valor de  $K_G$  conhecido e com a seguinte fórmula:

$$(K_G)_2 = (K_G)_1 \cdot \frac{(S_u)_2}{(S_u)_1} \quad \text{f.2.3.2}$$

Onde :

$K_G$  – Índice de deflagração (bar-m/s)

$S_u$  – Velocidade fundamental da queima (cm/seg)

### 2.3.1.2 POEIRAS

Eckhoff (2003) descreve que o fenómeno chamado explosões de poeiras é de fato bastante simples e de fácil compreensão em termos de experiência de vida. Qualquer material sólido que pode queimar no ar irá fazê-lo com uma violência e velocidade que aumenta com o aumento do grau de subdivisão de material.



Beyrsdorfer (1925) foi um dos pioneiros no estudo sobre explosões de poeiras, questionado sobre as suas motivações ele descreve três questões que o levaram a escrever o livro, a primeira impulsionada pela população em geral “As explosões de pó realmente existem?” a segunda questionada pela engenharia industrial “Porque estamos a ter tantas explosões de pó” e a terceira instigados pelos investigadores “Porque não temos muitas mais explosões de pó”, apesar da desatualização inerente à idade, não deixa de ser uma referência para o tema. As indústrias onde a manipulação de produtos no seu processo de fabrico podem provocar nuvens de poeira combustíveis capazes de causar uma explosão, tais como as indústrias químicas, alimentar, têxteis, papel, pesticidas, etc. têm que ter em especial atenção os seguintes fatores:

Quando uma massa de material inflamável sólida é aquecida e arde lentamente devido à área limitada da superfície do material exposto ao oxigénio obtido do ar. Esta energia produzida é libertada gradualmente e de forma uma inofensiva, porque é dissipada tão rapidamente quanto se produza.

No entanto, o resultado é bastante diferente quando a mesma massa de material se encontra moída num pó fino ( $< 0,5 \text{ mm}$ ) e misturados intimamente com o ar sob a forma de uma nuvem de pó. Nestas condições, a área da superfície exposta ao ar é muito maior (do que a situação anterior) e ao ocorrer a ativação efetiva, a totalidade do material oxidar-se-á rapidamente e a energia da massa, que no caso anterior libertara gradualmente e de forma inofensiva, é agora libertada abruptamente e com o desenvolvimento de grandes quantidades de calor.

Apesar de uma mistura de pó inflamável com o ar, poder oxidar com uma violência explosiva, só algumas das misturas o irão fazer. Isto porque existem uma gama de concentrações de pó e de ar dentro da qual a mistura pode explodir, no entanto as misturas que estejam acima ou abaixo deste intervalo (nível inferior  $30\text{-}60 \text{ gr/m}^3$  e o nível superior  $2\text{-}6 \text{ Kg/m}^3$ ) não terão a capacidade para explodir. A menor concentração de pó suscetível de explodir é referido como o limite inferior de explosividade e a concentração acima do qual uma explosão não terá lugar é referido como o limite superior de explosividade.

Os limites inferiores de explosividade de muitos materiais têm sido medidos e variam entre as  $10 \text{ gr/m}^3$  a cerca de  $500 \text{ gr/m}^3$ . Para a maioria dos fins práticos, pode ser assumido que  $30 \text{ gr/m}^3$  é o limite inferior de explosividade para a maioria das poeiras inflamáveis. Embora aparente ser uma concentração muito baixa, uma nuvem de poeira com tal concentração, têm a visibilidade de um dia de nevoeiro muito denso. Os limites superiores explosivos não estão

bem definidos e têm fraca reprodutibilidade sob condições de teste de laboratório. Uma vez que o limite explosivo superior é de pouca importância prática, os dados para este parâmetro estão raramente disponíveis.

A umidade contida nas partículas de pó é outro dos fatores que faz com que seja necessário o aumento da temperatura de ignição (absorção de energia para a vaporização da água). Existe uma relação direta entre o teor de umidade e a energia mínima necessária para a ignição. Em termos de umidade relativa do ar a ocorrência de teores abaixo de 75 % representa um aumento do risco na ocorrência das explosões de poeiras, e para valores inferiores a 50% representa uma situação crítica na ocorrência das explosões de poeiras.

Nas atmosferas explosivas de poeiras combustíveis, as explosões mais violentas são as produzidas quando a proporção de oxigénio presente se aproxima-se daquela que seria necessário para uma combustão completa. A gama da concentração de explosão de uma nuvem de pó não é uma simples função da composição química do pó, sendo os seus limites variáveis de acordo com o tamanho e a forma das partículas na nuvem de pó.

Uma nuvem de mistura do pó e ar que esteja dentro da gama de inflamabilidade têm a capacidade para explodir, no entanto esta não explodirá a menos que esteja de alguma forma inflamado através de uma fonte de ignição ativa (o modo de ignição de uma nuvem de poeira é tipicamente uma superfície quente, uma faísca elétrica ou uma chispa de atrito gerado mecanicamente), neste caso a chama irá propagar-se ao longo de toda a nuvem.

A figura 1 mostra uma comparação dos limites de inflamabilidade entre o gás metano e a poeira de polietileno no ar.

A figura 2 mostra o pentágono da explosão das poeiras, composto por poeiras combustíveis, o oxigénio, a dispersão, o confinamento, e finalmente a energia de ativação.

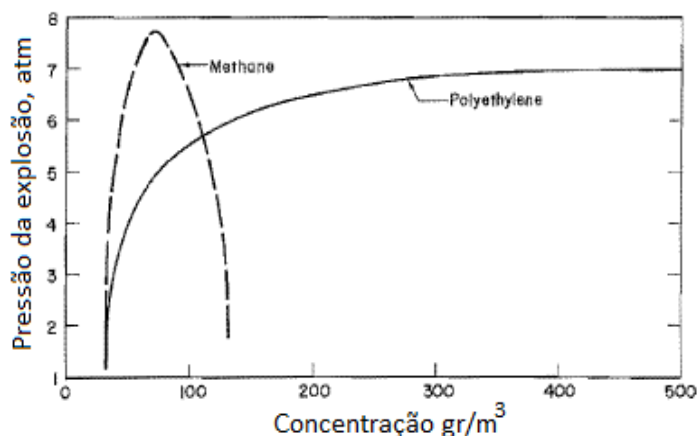


FIGURA 1 – COMPARAÇÃO DOS LIMITES DE INFLAMABILIDADE

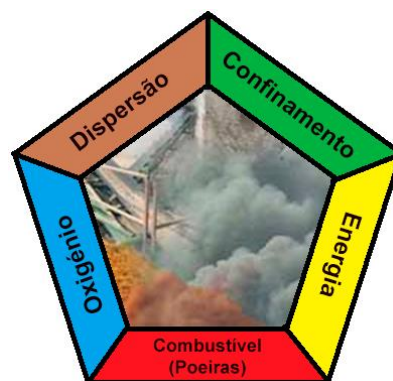


FIGURA 2 - PENTÁGONO DA EXPLOÇÃO (POEIRAS)

### 2.3.2 AS BASES PARA UMA EXPLOÇÃO

A oxidação é definida como a combinação química do oxigénio com qualquer outra substância, por outras palavras, sempre que o oxigénio se combina quimicamente com outra substância, a substância foi oxidada. A ferrugem é um exemplo da oxidação do ferro, neste caso, a reação química é muito lenta, à oxidação muito rápida de uma substância é chamado de combustão, ou fogo. Por outras palavras o fogo é uma reação química, mais especificamente é uma reação de oxidação.

Davletshina e Cheremisinoff (1998) Define o fogo como uma reação exotérmica (libertação de calor). Devendo haver uma reação contínua de energia (calor) para manter a reação ativa. Para conhecer-se melhor a química do fogo iniciamos com o estudo dos materiais que representam os produtos inflamáveis mais comuns, nomeadamente os hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos são compostos que contêm apenas na sua composição átomos de carbono e hidrogénio. Uma vez que os hidrocarbonetos é uma combinação química de hidrogénio e carbono (ambos não-metais) vamos esmiuçar os seus constituintes como o hidrogénio que têm na sua configuração eletrónica apenas um eletrão no anel externo e, portanto, irá formar apenas uma ligação, através da doação de um eletrão para a ligação. Já o carbono, por outro lado, estando a meio caminho da estabilidade com os seus quatro eletrões no anel externo, nenhum destes eletrões estão emparelhados, deste modo o carbono utiliza todos eles para formar ligações covalentes. Esta particularidade da estrutura do carbono é a base da química orgânica. O carbono não só combina em covalência com outros não-metais, mas também com si mesmo, esta combinação forma uma molécula maior com cada átomo de carbono que é adicionado à cadeia, o composto resultante é conhecida como um isómero que são os compostos que têm a mesma composição elementar e diferentes propriedades físicas ou químicas. Existem milhares de hidrocarbonetos conhecidos em consequência das diferentes composições moleculares. No entanto todos os hidrocarbonetos apresentam uma propriedade em comum, oxidam-se com facilidade liberando energia calorífica.

Existem três teorias básicas que são usados para descrever a reação conhecida como o fogo são elas o “triângulo do fogo”, o “tetraedro de fogo”, e o “ciclo de vida do fogo”.

#### 2.3.2.1 O TRIÂNGULO DO FOGO

A primeira teoria, o triângulo do fogo, é uma teoria simplificada e proporciona uma compreensão básica das três entidades que são necessárias para se formar o fogo. Esta teoria

afirma que existem três componentes necessários para se obter o fogo: o “combustível” (a substância), o “comburente” (oxigênio) e a “energia de ativação” (ou o calor). São comparados estes três componentes aos três lados de um triângulo, que indicam que, enquanto o triângulo não estiver completo, isto é, os segmentos de reta não se tocarem uns nos outros para formar um triângulo fechado ou concluído, a combustão não se realiza. A Figura 3 ilustra o triângulo do fogo.

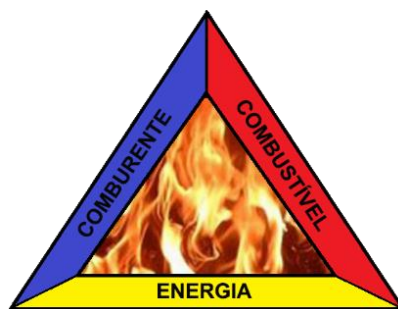


FIGURA 3 - TRIÂNGULO DO FOGO

Esta teoria apesar de ser a mais antiga, continua correta, pois sem o combustível (qualquer coisa que arda) para queimar, não pode haver fogo, assim também se não houver oxigênio (o oxidante) presente, não pode haver fogo, e finalmente, sem a energia de ativação (o calor), não pode haver fogo. Portanto, o triângulo do fogo representa o combustível, o comburente e energia.

Os combustíveis podem ser:

- Elementos (que se incluem os metais e não-metais, ex: carbono, o fósforo);
- Hidrocarbonetos (petróleo, gás natural);
- Hidratos de carbono (incluindo as misturas que são feitos parcialmente de celulose ( $C_6H_{10}O_5$ ), como a madeira e o papel);
- Muitos gases ligados por covalência (incluindo o monóxido de carbono, amônia e cianeto de hidrogênio);
- Todos os outros compostos orgânicos.

Esta lista de materiais que arde é bastante extensa, e inclui não só os elementos como também os compostos, assim como as mistura desses elementos e compostos (ex: a gasolina, que é uma mistura dos seis primeiros alcanos líquidos o pentano, hexano, heptano, octano, nonano, e decano).

Os oxidantes para os gases são o oxigênio, fluor e o cloro; para os líquidos são os peróxidos de hidrogénio, ácido nítrico, ácido perclórico e por fim para os sólidos os peróxidos de metal, nitrito de amónio.

As formas capazes de fornecer a fonte de energia necessária para iniciar o processo de combustão são:

- Gerado quimicamente pela combustão de alguns outros combustíveis;
- Gerado por uma reação química exotérmica;
- Gerado por uma ação mecânica, (fricção: calor e estática);
- Geração de energia elétrica (calor, arco, curto circuito, relâmpago);
- Geração de energia nuclear (fusão nuclear).

Esta energia é transmitida ao combustível de três maneiras diferentes: por condução (a transferência de calor faz-se através de um meio condutor, ou seja, através de um material sólido de uma região de temperatura elevada em direção a outra região de temperatura mais baixa), por convecção (a transferência do calor faz-se com o meio, ou seja, por meio de um fluido líquido ou gás, tal como o ar aquecido), e por radiação (a transferência de calor não é dependente de qualquer meio).

#### 2.3.2.2 O TETRAEDRO DO FOGO

A segunda teoria é a do tetraedro do fogo, que é ilustrada na Figura 4. Esta teoria engloba os três conceitos da teoria do triângulo, mas acrescenta um quarto, tornando-se numa pirâmide ou um tetraedro; este quarto lado é chamado de "reação em cadeia".

Esta teoria diz que quando a energia é aplicada a um combustível tal como um hidrocarboneto, uma parte das ligações do carbono-carbono quebra-se, deixando um eletrão desemparelhado ligado a um dos fragmentos moleculares, criando, assim, um radical livre. Este fragmento molecular com o eletrão não emparelhado, é altamente reativo e, portanto, vai procurar algum outro material para reagir.

A mesma fonte que fornece a energia necessária para quebrar a ligação carbono-carbono, também eventualmente quebrará algumas outras ligações como o carbono-hidrogénio, o oxigénio-oxigénio. Esta quebra de ligações em massa cria os radicais livres num espaço e em quantidade suficiente que, por estarem demasiado perto uns dos outros, facilitam a recombinação dos radicais livres com outros radicais. A quebra dessas ligações liberta a energia armazenada neles, de modo que estas posteriores libertações de energia tornam-se elas também numa fonte de energia para quebra mais de ligações, que por sua vez libertam mais energia. Assim, o fogo "alimenta-se" através da contínua criação e libertação de mais e mais energia (reação em cadeia), até que uma das seguintes variáveis aconteça: o

combustível é todo consumido, o oxigênio se esgota-se, a energia é absorvida por outra fonte que não a combustível, ou esta reação em cadeia é interrompida. Esta teoria sustenta que a propagação de todos os incêndios de hidrocarbonetos (ou incêndios que envolvem derivados de hidrocarbonetos) depende da formação de radicais do grupo hidroxilo (OH), que se encontra em grandes quantidades em todos esses tipos de incêndios, esta reação desinibida quebra as moléculas em radicais hidroxilo, que duram um tempo extremamente curto, na ordem de 1 ms.



FIGURA 4 - TETRAEDRO DO FOGO

#### 2.3.2.3 O CICLO DE VIDA DO FOGO

A terceira teoria denomina-se do ciclo de vida do fogo, e é ilustrado na Figura 5. Nesta teoria, da combustão é ordenado em seis passos, três dos quais são idênticos às da teoria do triângulo do fogo.

O primeiro passo é a introdução de calor, na qual é definida como a quantidade de calor necessária para produzir o desenvolvimento de vapores a partir dos sólidos ou líquidos (ponto de inflamação). A entrada de calor também irá ser a fonte de ignição e deve ter a temperatura suficiente para atingir a ponto de ignição do combustível (ponto de ignição), deve de ser de forma continuada e autossuficiente para aquecer o combustível o suficiente para produzir o vapor necessário para formar com o ar uma fonte do combustível numa mistura inflamável.

O segundo passo é o combustível, e é essencialmente o mesmo que representa o combustível no triângulo e no tetraedro do fogo. O combustível deve estar na forma adequada para queimar, isto é, deve ser vaporizado, ou, no caso de um metal, quase toda a peça deve ser elevado à temperatura apropriada antes de se começar a queimar.

O terceiro passo é o oxigénio atmosférico, que é fonte oxidante da chama produzida por uma mistura espontânea (em oposição a uma mistura pré-misturada) de gases ou de vapores de combustível e de ar.

O quarto passo da teoria é a proporção (oxidante/combustível), ou a ocorrência de colisões intermoleculares entre a molécula de oxigénio e a dos hidrocarbonetos, a velocidade das moléculas e o número de colisões dependem do calor da mistura de oxigénio e combustível. Quanto mais quente for a mistura, maior é a sua velocidade.

O quinto passo é a mistura, isto é, a percentagem de combustível e de oxigénio devem ser corretas para que se possa ocorrer a ignição (intervalo inflamável).

O sexto passo é a manutenção da ignição, que é fornecida pelo calor sendo irradiado da chama de volta para a superfície do combustível, o calor deve ser suficientemente elevada para funcionar como uma entrada de calor para o ciclo contínuo do fogo.

A teoria do ciclo de vida do fogo acrescenta os conceitos de ponto de inflamação e ponto de ignição e banda de inflamabilidade.



FIGURA 5 - CICLO DE VIDA DO FOGO

#### 2.3.2.4 DERRAMAMENTO DE GASES COMPRIMIDOS

O derramamento é a libertação de substâncias processuais da atividade normal ou extraordinário em curso, dentro das instalações, e que exponha os trabalhadores e/ou as instalações a perigos com consequências imediatas, a médio ou longo prazo.

Marc e Konstantinos, (2010) estudaram o comportamento dinâmico de um gás comprimido ao se libertar acidentalmente do interior de um tanque de armazenamento. Observaram que o gás sofreu uma redução de pressão, densidade e de temperatura, devido à expansão do gás restante que gera o arrefecimento e a descompressão. Devido a estes fatores é necessário

entrar com estes dados para se calcular o caudal mássico da libertação do gás, que se vai alterando em relação ao tempo.

Este valor do caudal mássico da libertação irá ser importante para calcular a área do volume da nuvem do gás ou vapor, que aparece na norma Europeia “EN 60079-10” como a taxa de libertação máxima ( $Q_{gmax}$ , Kg/s).

O processo de cálculo pode-se começar por obter a densidade inicial:

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot W_g}{R \cdot T_0} \quad (f.2.3.3)$$

Onde:

$\rho_0$  é a densidade do gás inicial (Kg/m<sup>3</sup>);

$P_0$  é a pressão do gás inicial no interior do tanque (Pa);

$W_g$  é o peso molecular do gás (Kg/Kmol);

$R$  é a constante dos gases (8,314 Jmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>);

$T_0$  é a temperatura inicial (K).

O peso molecular de uma mistura de gases podem ser calculadas através da seguinte fórmula:

$$M_{mix} = \frac{(\%sub\_a \times Msub\_a) + (\%sub\_b \times Msub\_b) + (\%sub\_c \times Msub\_c)}{\%sub\_a + \%sub\_b + \%sub\_c} \quad (f.2.3.4)$$

Onde:

$M_{mix}$  - Massa molar da mistura (Kg/Kmol);

$\%sub\_a$  - Percentagem da substância A;

$Msub\_a$  - Massa molar da substância A (Kg/Kmol).

Depois necessita de se saber se a libertação mássica é do tipo sónico ou subsónico com o seguinte critério (afirmação verdadeira, a libertação é sónico se for falso é subsónico) da expressão:

$$P_0 \geq P_a * \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (f.2.3.5)$$

Onde:

$P_0$  é a pressão do gás inicial no interior do tanque (Pa);

$P_a$  é a pressão atmosférica (Pa);

$\gamma$  é a relação de calor específico ( $C_p/C_v$ ).



O coeficiente de K é dependente do tipo de saída e com as seguintes fórmulas:

Caso subsónico:  
(f.2.3.6)

$$K = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma^2 \left(\frac{p_a}{p_0}\right)^{2/\gamma} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_0}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]}{\gamma - 1}}$$

Caso de ser sónico:  
(f.2.3.7)

$$K = \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

Depois aplica-se a fórmula da velocidade mássica do caudal de libertação:

$$Q_{gmax} = C_d \cdot S \cdot P_0 \cdot K \sqrt{\frac{W_g}{\gamma \cdot R \cdot T_0}} \quad (f.2.3.8)$$

Onde:

$Q_{gmax}$  é a velocidade do caudal mássico em libertação (Kg/s);

$C_d$  é o coeficiente de descarga,

$S$  é a área do orifício ( $m^2$ ).

Ou em alternativa pode-se usar a seguinte fórmula:

$$Q_{gmax} = S \cdot P_0 \cdot C_d \cdot \left(\gamma \frac{W_g}{R \cdot T}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \quad (f.2.3.9)$$

$C_d$	Tipo de orifício
0,62	Orifício com bordas afiadas e íngremes
0,86	Orifício com bordas retas
0,96	Orifício com bordas arredondadas
1	Rutura do tubo

**TABELA 2 – COEFICIENTE DE DESCARGA** (FONTE: CEI – 31-35)

Se for necessário saber quanto tempo é que leva a substância até parar de verter, então precisamos de encontrar o momento em que a pressão interior e exterior se igualam, sendo necessário constatar a descida do caudal de libertação ao longo do tempo, achando-se o valor da descida de densidade e temperatura em relação ao tempo:

$$\delta \rho_n = -\frac{Q_{gmax}}{V} \cdot \delta t_n \rightarrow \rho_{n+1} = \rho_n + \delta \rho_n \quad (f.2.3.10)$$

$$\delta T_n = \frac{P_0}{\rho_0^2 \cdot C_v} \cdot \delta \rho_n \rightarrow T_{n+1} = T_n + \delta T_n \quad (f.2.3.11)$$

Onde:

$\delta\rho_n$  é a densidade no momento “n” (Kg/s);

$\delta t_n$  é o momento “n” em segundos (s);

$\delta T_n$  é a temperatura no momento “n” (K);

$C_v$  é calor específico a vol. Const. (KJ/Kg·K).

Seguido pela descida de pressão:

$$P_n = R \cdot T_n \cdot \frac{\rho_n}{W_g} \quad (\text{f.2.3.12})$$

Estes novos valores de índice n+1 irão servir de base para calcular o caudal mássico de libertação, substituindo as iniciais.

#### 2.3.2.5 DERRAMAMENTO DE LÍQUIDOS

Segundo Marc e Konstantinos, (2010) no caso de a libertação ser de um tanque com uma substância líquida, a massa no interior do tanque irá diminuir continuamente e, consequentemente a pressão irá também diminuir. O caudal mássico de saída está diretamente relacionada com a pressão hidrostática no interior do tanque, o que por sua vez depende da diferença de altura entre o nível do líquido e o ponto de escoamento.

O processo de cálculo pode-se começar por obter da massa inicial líquida:

$$M_0 = \Phi \cdot V_d \cdot \rho \quad (\text{f.2.3.13})$$

Onde:

$\Phi$  é o fator de enchimento (0 o tanque está vazio, 1 o tanque está cheio);

$V_d$  é o volume do tanque (m<sup>3</sup>);

$\rho$  é a densidade do gás (Kg/m<sup>3</sup>).

Acha-se a altura em que se encontra o nível do líquido dentro do tanque:

$$h = \Phi \cdot h_v \quad (\text{f.2.3.14})$$

Onde:

$h_v$  é a altura do tanque (m).

A pressão total P (Pa) é calculada pela soma da pressão hidrostática  $P_h$  (a diferença de altura entre o nível do líquido e o orifício), com a pressão absoluta  $P_T$ :

$$P = P_h + P_T = \rho \cdot g \cdot h + P_T \quad (\text{f.2.3.15})$$

Onde:

$g$  é a aceleração gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$h$  é a altura do nível do líquido (m);

$\rho$  é a densidade do gás (Kg/m<sup>3</sup>).

O caudal mássico de libertação de líquido através de um orifício,  $Q_{gmax}$  (kg/s), é definido pela seguinte equação de Bernoulli:

$$Q_{gmax} = C_d \cdot A_h \sqrt{2(P - P_a) \cdot \rho} \quad (\text{f.2.3.16})$$

Onde:

$C_d$  é o coeficiente de descarga;

$A_h$  é a área transversal do orifício (m<sup>2</sup>);

$P$  é a pressão total no orifício (Pa);

$P_a$  a pressão ambiental (Pa);

$\rho$  é a densidade do líquido (Kg/m<sup>3</sup>).

A redução da massa no tanque, devido à libertação é calculada da seguinte forma:

$$\delta M_1 = Q_{gmax} \cdot \delta t_1 \quad (\text{f.2.3.17})$$

Onde:

$Q_{gmax}$  é a velocidade do caudal mássico de libertação (Kg/s);

$\delta t_1$  é o tempo de cada step (s).

A redução em volume do líquido no tanque é dada por:

$$\delta V = \frac{\delta M_1}{\rho} \quad (\text{f.2.3.18})$$

Com os novos valores obtidos, podemos calcular o caudal mássico através do tempo até que termine a massa líquida do tanque.

### 2.3.2.6 DERRAMAMENTO DE GASES LIQUEFEITOS

Segundo Marc e Konstantinos, (2010), o derramamento de gases liquefeitos, e muito em especial, a rutura total de um tanque contendo um gás liquefeito pressurizado e a uma temperatura acima de seu ponto de ebulição é bastante complexo e tem muitas variáveis em jogo. Normalmente resulta na projeção instantânea do seu conteúdo (líquido) em todas as

direções, formando uma nuvem de vapor com as gotas do líquido, até que esta nuvem seja arrefecida a uma temperatura inferior ao ponto de ebulição do líquido.

Esta situação é especialmente perigosa quando se trata de um líquido tóxico. A nuvem tóxica resultante pode ser prejudicial para as pessoas, que dependerá da toxicidade do líquido e do tamanho das gotículas. As gotículas de diâmetros entre 1-10 µm ficam no ar por um longo período de tempo e podem entrar no corpo humano através da inalação, enquanto as gotículas de diâmetros entre os 70-100 µm, afetam as pessoas através da pele ou indiretamente, através da camada disposta sobre o solo.

Se o líquido for inflamável, então a nuvem inflamável pode resultar num incêndio ou na explosão da nuvem de vapor.

Quando se dá a rotura total do tanque o líquido é projetado e expande-se sem pré-mistura com o ar, formando uma nuvem composta de ar e gotas do líquido e parte das gotículas são precipitadas para o solo, o ar mistura-se com o vapor e as gotas que se vão evaporando tornando-se numa nuvem homogénea dispersa na atmosfera.

Para se calcular a nuvem de dispersão deve-se primeiro achar o valor da fração da massa final:

$$w_f = w_0 \frac{T_f}{T_0} + \frac{T_f}{\lambda_f} C_{PL} \ln \frac{T_0}{T_f} \quad (\text{f.2.3.19})$$

Onde:

$w_f$  é a fração da massa final da fase do vapor;

$w_0$  é a fração da massa inicial;

$C_{PL}$  é a constante de pressão da fase líquida (KJ/Kg K);

$T_f$  é a temperatura final (K);

$\lambda$  é a temperatura da vaporização (J/Kg).

A média da densidade final para as temperaturas e pressões finais:

$$\frac{1}{\rho_f} = \frac{(1 - w_f)}{\rho_{l,f}} + \frac{w_f}{\rho_{v,f}} \quad (\text{f.2.3.20})$$

Onde:

$\rho_f$  é a densidade final (Kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_{l,f}$  é a densidade do líquido (Kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_{v,f}$  é a densidade do vapor (Kg/m<sup>3</sup>).

O volume final da nuvem depois da expansão o  $V_f$  é função:

$$V_f = \frac{M}{\rho_f} \quad (\text{f.2.3.21})$$

Onde:

$V_f$  é o volume final da nuvem ( $\text{m}^3$ );

M massa (Kg)

E finalmente o raio da nuvem  $R_f$  (m):

$$R_f = \left( \frac{3V_f}{2\pi} \right)^{1/3} \quad (\text{f.2.3.22})$$

## 2.4 ANÁLISE DE EFEITOS E CONSEQUÊNCIA

Muitos são os estudos para se entender a sistemática de ocorrência de acidentes, procurando encontrar a “causa raiz” do problema. Porém, o cerne da questão é não haver uma simples causa, mas sim um conjunto de causas, associadas ou em cadeia. Mas existe um elemento comum que aparece em todas elas, que é a ação humana, ela aparece em praticamente em todas as questões relacionadas, como em planeamento das ações, projetos, processamento e manutenções.

Em termos estatísticos a causa mais comum para os grandes acidentes com danos materiais são as explosões, sendo muitas delas provocadas por explosão de nuvens de vapor explosivas e o espectacular como resultado das explosões é que sejam seguidas por incêndios.

Sendo assim a análise de efeitos e consequências no setor industrial divide-se em três grandes áreas: o fogo, as explosões e a dispersão de substâncias tóxicas.

Garrison (1988) publicou um estudo sobre as causas dos acidentes industriais entre os anos de 1957 a 1986 correlacionando as suas causas entre fogo e explosões, as suas conclusões foram as seguintes que se indica através deste gráfico:

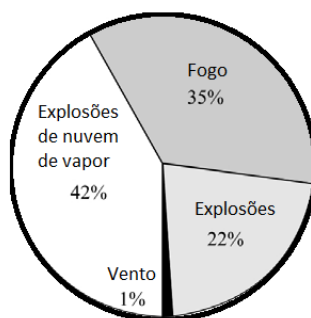


FIGURA 6 – GRÁFICO DE CAUSA DE ACIDENTES (FONTE: GARRISON 1988)

Na figura 7 podemos ver as prováveis consequências de fugas de gás e líquidos combustíveis:

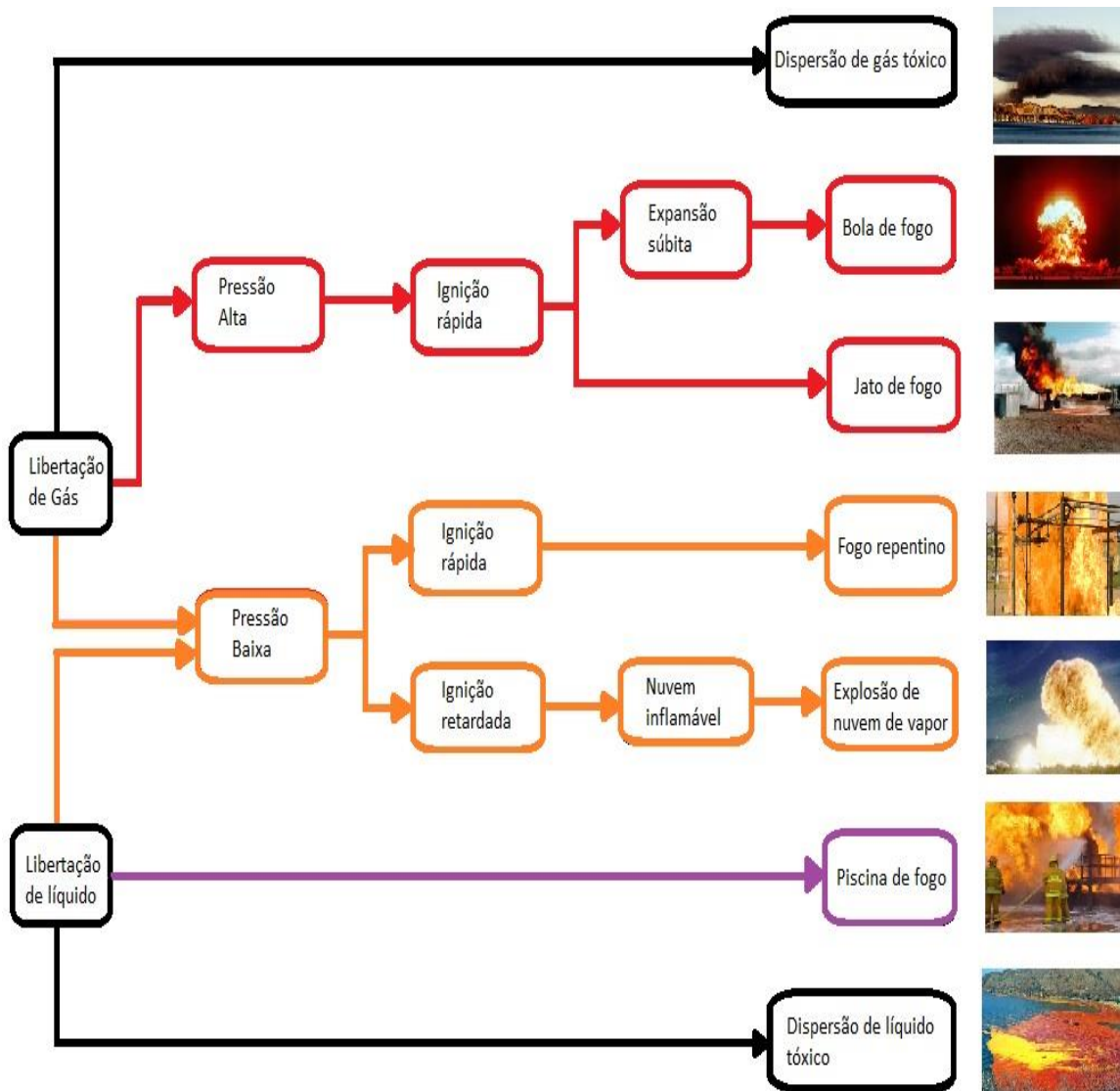


FIGURA 7 – CONSEQUÊNCIA DE LIBERTAÇÃO ACIDENTAL DE SUBSTÂNCIAS COMBUSTÍVEIS

Segundo a “International Review of Chemical Engineering”, volume 4, n.º 6, de Novembro de 2012, onde se encontra publicadas as seguintes tabelas, representando os desastres industriais mais relevantes em relação aos custos (tabela 3), ao número de mortes (tabela 4), ao número de feridos (tabela 5) e finalmente ao número de evacuados (tabela 6) no intervalo entre 1921 a 2011.

As variáveis da coluna dos custos são estimados para valores correspondentes ao ano de 2011 e vem na unidade de milhões de euros, que inclui os danos materiais, a remoção de entulho, a limpeza do ambiente e as devidas indemnizações.

Data	País	Local	Causa Primária	Nº Feridos	Nº Mortes	Nº Evacuados	Substância	Custos 2011 (M. €)
03/11/2011	Japão	Fukushima	E/T	0	0	100000	Gases radioativos	175000
04/20/2010	USA	Golf do México	E	0	11	115	Petróleo	8154
07/06/1988	UK	Piper Alpha	E		165		Gás	1399
05/28/1979	USA	Three Mile Island	T	0	0	0	Gases radioativos	1028
10/23/1989	USA	Pasadena	E	314	23	1300	Etileno / Isobutano	959
04/26/1986	Ucrânia	Chernobyl	E	600000	31	336000	Gases radioativos	949
09/21/2001	France	Toulouse	E	3000	30		Nitrato de amónio	827
01/20/2004	Argélia	Skikda	E	74	23		LNG	787
03/15/2001	Brasil	Bacia de Campos	E		10	165	Gás	568
04/24/1988	Brasil	Enchova	F				Gás	508

**TABELA 3 - ACIDENTES INDUSTRIAIS – CUSTOS (FONTE: IRCE)**

A próxima tabela realça os mais altos número de vítimas mortais em acidentes industriais

Data	País	Local	Causa Primária	Substância Envolvida	N.º Mortes
12/03/1984	India	Bhopal	T	Isocianato de metila	20000
10/17/1998	Nigéria	Jesse, Niger Delta	E	Gasolina	1000
11/19/1984	México	San Juan Ixhuatepec	E	LPG	650
06/04/1989	USSR	Sibéria	E	LPG	645
09/21/1921	Alemanha	Oppau	E	Nitrato de amónio	561
02/24/1984	Brasil	Cubatão	F	Gasolina	508
08/04/1993	Columbia	Remeios	T	Petróleo	430
11/02/1994	Egipto	Donca	F	Petróleo	410
05/12/2006	Nigéria	Lagos City	E	Petróleo	260
07/10/2000	Nigéria	Adeje Warri	E	Petróleo	250

**TABELA 4 - ACIDENTES INDUSTRIAIS - VITIMAS MORTAIS (FONTE: IRCE)**

Onde: E – Explosões, F – Fogo, T – Libertação de substâncias tóxicas.

Nesta tabela é realçado o número de feridos que receberam assistência Hospitalar.

Data	País	Local	Causa Primária	Substância Envolvida	N.º Feridos
04/26/1986	Ucrânia	Chernobyl	E	Gases radioativos	600000
12/03/1984	India	Bhopal	T	Isocianato de metila	500000
10/26/1948	USA	Donara	T	Dióxido de enxofre	7000
11/19/1984	México	San Juan, Ixhuatepec	E	LPG	6400
07/26/1993	USA	Richmond	T	Ácido Sulfúrico	6,25
09/21/2001	França	Toulouse	E	Nitrato de amônio	300
07/28/1948	Alemanha	Ludwigshafen	E	Éter dimetílico	2500
09/21/1921	Alemanha	Oppau	E	Nitrato de amônio	1952
04/22/1992	México	Guadalajara	E	Gasolina	1460
02/26/1972	USA	Buffalo Creek	T	Águas residuais	1100

**TABELA 5 - ACIDENTES INDUSTRIAIS - FERIDOS (FONTE: IRCE)**

Na tabela 6 estão os evacuados que diretamente ou indiretamente estiveram envolvidos nos acidentes industriais.

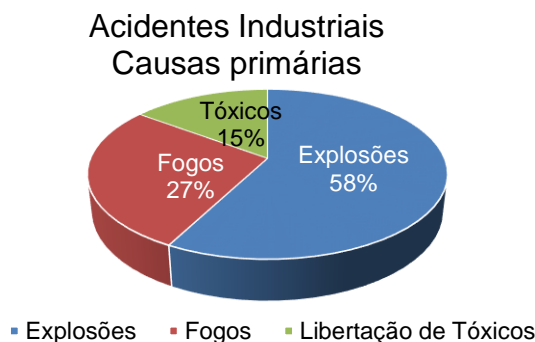
Data	País	Local	Causa primária	Substância envolvida	N.º Evacuados
10/29/2009	India	Jaipur	F	Petróleo	500000
04/26/1986	Ucrânia	Chernobyl	E	Gases radioativos	336000
06/08/1988	França	Tours	F	Hidrogênio e amônia	200000
03/11/2011	Japão	Fukushima	E/T	Gases radioativos	100000
07/25/1990	UK	Birmingham	T	Fosgênio	75000
09/15/1997	India	Visakhapatnam	E	LPG	60000
09/12/2000	México	Salamanca	E	Malation	60000
12/19/1982	Venezuela	Tacoa, Caracas	F	Petróleo	40000
10/29/1987	França	Nantes	F/T	Nitrato de amônio	38000
03/20/1989	USSR	Ionava	E	Amônia	30000

**TABELA 6 - ACIDENTES INDUSTRIAIS - EVACUADOS (FONTE: IRCE)**

Onde: E – Explosões, F – Fogo, T – Libertação de substâncias tóxicas.



Como podemos constatar neste estudo onde foram contabilizados 319 casos, cobrindo os anos de 1917 a 2011, as causas primárias em termos percentuais foram distribuídos em 58% para explosões seguido pelos fogos com 27% e finalmente 15% para libertações de substâncias tóxicas.



**FIGURA 8 GRÁFICO DE ACIDENTES INDUSTRIAIS (FONTE: IRCE)**

Este mesmo estudo conclui-o que “Embora o número de acidentes industriais graves é maior em países desenvolvidos do que naqueles em desenvolvimento, o número de mortos e feridos, é consideravelmente menor. Isso provavelmente é o resultado de uma melhor aplicação da legislação de regulamentação de segurança nos países desenvolvidos”.

#### 2.4.1 FOGO

O fogo provoca danos numa relação direta com o fluxo de calor gerado pela chama, que se pode calcular pelo modelo de chama na forma de solido “solid-flame” este modelo assume que a chama tem uma forma sólida, e que irradia calor apenas a partir das suas superfícies, assim tem que se levar em consideração a forma da chama e calcular o caudal do calor em função da superfície de saída de energia, o fator de forma e a transmissividade atmosférica.

$$q' = SEP_{act} \cdot F_{view} \cdot \tau_a \quad (f.2.4.1)$$

Onde:

$q'$  é o fluxo do calor ( $W/m^2$ );

$SEP_{act}$  é a potência emitida na superfície atual ( $W/m^2$ );

$F_{view}$  é o fator de visão;

$\tau_a$  é a transmissividade atmosférica.

A taxa da combustão,  $m'$  ( $kg/m^2s$ ), expressa a taxa com a qual o material inflamável arde.

$$m' = [\Delta H_v + C_p(T_b - T_a)] \quad (f.2.4.2)$$

Onde:

$\Delta H_v$  é a calor da vaporização (J/Kg);

$C_p$  é o calor específico do combustível (J/Kg K);

$T_b$  é a temperatura de ebulição (K);

$T_a$  é a temperatura do ambiente (K).

As lesões provocadas nas pessoas após o início de um incêndio são principalmente devido às grandes quantidades de radiação de calor gerado pela combustão das substâncias inflamáveis, provocando queimaduras ou mesmo a morte, são uma consequência direta da intensidade do caudal do calor irradiado pelo fogo e do tempo da sua exposição E determina-se a partir da seguinte equação como:

$$D = t_{eff}(q')^{4/3} \quad (f.2.4.3)$$

Onde:

$D$  é dose de radiação térmica ( $W^{4/3} s m^{-8/3}$ );

$q'$  é o caudal do calor ( $W/m^2$ );

$t_{eff}$  é o tempo que uma pessoa está em exposição à radiação (s)

O tempo de exposição é calculado pela seguinte equação:

$$t_{eff} = t_r + \frac{(x_0 - r)}{u} \quad (f.2.4.4)$$

Onde:

$t_r$  é o tempo de reação da pessoa (s);

$x_0$  é a distância entre a chama e a posição onde a intensidade do calor é inferior a 1  $KW/m^2$  (m);

$r$  é a distância da pessoa à superfície da chama (m);

$u$  é a velocidade de fuga (m/s).

Em relação aos estragos dos materiais pode-se considerar duas situações: a destruição total ou estragos superficiais, que dependem diretamente das temperaturas das superfícies que os materiais suportam, podendo se calcular a temperatura na superfície pela equação:

$$\alpha \cdot q' - \frac{S_{out}}{S_{in}} (\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 + h_c(T - T_a)) = 0 \quad (f.2.4.5)$$

Onde:

$\alpha$  é o coeficiente de absorção;

$q'$  ( $W/m^2$ ) é o caudal incidente de calor;

$S_{in}$  (m) é a superfície do material que recebe o calor;

$S_{out}$  (m) é superfície da emissão do calor;

$\varepsilon$  é emissividade do corpo;

$\sigma$  é a constante de Stephan-Boltzmann ( $5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ),

$T$  (K) é a temperatura da superfície do material;

$h_c$  ( $\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ), é o coeficiente de convecção da transferência de calor ;

$T_a$  é a temperatura ambiente.

#### 2.4.2 NUVENS DE VAPOR EXPLOSIVAS

Se durante uma libertação acidental, formar-se uma nuvem inflamável de gases e a sua ignição for imediata, é provocado um incêndio, se, não for o caso e a sua ignição for por alguma razão retardada (5-10 min), ocorre uma explosão da nuvem de vapor.

Para que a ignição ative a substância, é necessário que a composição dos gases inflamáveis (como visto anteriormente) devem de estar entre os limites de inflamabilidade e ao mesmo tempo, ter a energia suficiente para a ativação (normalmente na ordem dos 10 J).

O impacto da explosão vai depender de alguns fatores que influenciam a evolução e a intensidade da explosão são: o tipo e quantidade de substância inflamável, o tempo decorrido entre a fuga e a ignição, a configuração do espaço onde ocorre a nuvem e o número de fontes de ignição disponíveis na altura da ignição.

Como visto anteriormente os efeitos prejudiciais de uma explosão de uma nuvem de vapor são principalmente devido ao excesso de pressão (onda de choque) que é criado a partir da rápida expansão dos produtos da combustão.

Um dos modelos para se calcular a potência da explosão de uma nuvem de vapor inflamável é o método da equivalência à massa do TNT, de acordo com este método, a energia da explosão da nuvem de vapor corresponde a uma massa equivalente de TNT (trinitrotolueno), que iria produzir a mesma potência explosiva. Pode-se calcular através das seguintes equações:

$$M_{TNT} = \frac{f_E \cdot \Delta H_C \cdot M_G}{\Delta H_{TNT}} \quad (\text{f.2.4.6})$$

$$Z = \frac{x}{M_{TNT}^{1/3}} \quad (\text{f.2.4.7})$$

$$P_S = \frac{80800 \left( 1 + \left( \frac{Z}{4,5} \right)^2 \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{Z}{0,048} \right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{Z}{0,32} \right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{Z}{1,35} \right)^2}} \quad (\text{f.2.4.8})$$

Onde:

$M_{\text{TNT}}$  (Kg) é a massa equivalente a TNT;

$Z$  (m/Kg<sup>1/3</sup>) é a distância escalar;

$P_S$  (KPa) é a sobrepressão produzida;

$x$  (m) é a distância do centro da explosão;

$M_G$  é a massa do gás inflamável;

$\Delta H_c$  (KJ/Kg) é o calor gerado pela combustão do gás;

$\Delta H_{\text{int}}$  (KJ/Kg) é o calor gerado pela combustão do TNT;

$f_E$  é o coeficiente da energia libertada como onda de choque.

### 2.4.3 BLEVE – EXPLOSÃO DOS VAPORES DA EBULIÇÃO DOS LÍQUIDOS

A explosão por expansão do vapor do líquido em ebulição, conhecido como BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), é uma consequência de uma falha externa (isto é normalmente a influência de um incêndio), sobre um recipiente pressurizado contendo um gás ou um líquido armazenado com uma pressão mais elevada do que a do ambiente.

Por exemplo o petróleo bruto, muitas vezes contém resíduos de água, fazendo com que os tanques de armazenamento acumulem alguma água no fundo. Em caso de incêndio, o calor que entra em contato com a água vai provocar uma explosão de vapor, com uma expansão de aproximadamente 1700 vezes o seu volume da água que evaporarão, esta geração instantânea de vapor irá agir como um êmbolo, fazendo com que o líquido seja atirado com violência contra as paredes do tanque. Esta erupção súbita é conhecida como um “boilover”. Esta ebulição faz então com que o calor absorvido, aumente a pressão interna, que em contacto com a superfície do metal e devido ao aumento da temperatura e à fadiga dos materiais, resulta na insuficiência do tanque na forma de uma pequena fenda da ordem dos 4mm, que permite uma libertação de gás a uma velocidade de cerca de 15 m/s, o gás libertado da fenda inicial, provoca por sua vez uma descida súbita de pressão que origina diretamente uma intensa ebulição e consequentemente numa subida brusca de pressão e a inevitável explosão do tanque. A energia libertada produz uma onda de choque enérgica, e uma intensa

radiação de calor, violentas projeções de fragmentos que podem até mesmo atingir todos os tanques circundantes.

## 2.5 CAUSAS DA DESTRUIÇÃO

Uma das causas mais provável nos acidentes é a falta de conhecimentos, mesmo que se tenham tomadas todas as recomendações de segurança. A falta do conhecimento dos perigos existentes, pode levar o operador a cometer um erro técnico, a ignorância pode levar um projetista de processo a selecionar o equipamento errado para a zona de risco, etc. Assim, o acumular destes eventos podem ser predominadas pela ausência de conhecimentos específicos, que deve ser tratado com uma abordagem responsável sistemática e baseada na experiência.

### 2.5.1 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

Em instalações industriais tudo tem potencial para ser uma fonte de perigo, por exemplo é muito frequente em Petroquímicas a utilização de tanques de armazenagem de substâncias (tanto inflamáveis como tóxicas), estes tanques são projetados com muito cuidado, dando uma especial atenção à sua especificidade técnica e variam tanto em tamanho como na sua capacidade de suportar o esforço físico, no entanto não deixa de ser um elemento frágil que se pode danificar tanto por sobrepressão como por vácuo. Por estas razões devem-se ter cuidado redobrado atendendo a especificações como a resistência do tanque a velocidades máximas do vento de 150 km/h, o teto ter pelo menos 10% de inclinação para escoar a água das chuvas, ter uma pintura interna ou externa à base de zincagem ou de revestimento epóxi se estiver perto do mar etc.

Embora possa parecer inacreditável, o enchimento excessivo é a causa mais comum de acidentes encontrados em tanques de armazenamento. Isto geralmente ocorre em tanques abertos mas pode também acontecer em tanques fechados, isto devido a falhas de vários mecanismos de operação e segurança (falha nos instrumentos de controlo, falta de manutenção, erro de operação, etc.). As consequências de uma piscina devido ao transbordamento são óbvias, e a probabilidade de incêndio, explosão ou dispersão de gás tóxico depende diretamente do tipo de substância que foi libertada.

As tubagens, válvulas e equipamentos relacionados, poderão estar na origem de alguns dos incidentes, como por exemplo a corrosão das tubagens (engano da seleção de especificações dos materiais usados), as vibrações transmitidas às tubagens tanto por agentes exteriores como por falta de suporte, a densidade pontual do óxido do ferro ser menor do que a do restante ferro (o que significa que, durante a sua formação, existiu uma expansão, e que resulta numa zona enfraquecida), assim como a fadiga dos materiais etc.

As válvulas são um equipamento muito usado nas tubagens e associados a elas estão os instrumentos de controlo. Cada um deles aumenta a probabilidade de incidentes à volta delas. As bombas e sistemas de centrifugação como tem partes móveis, são suscetíveis de ter pequenas fugas, devido aos isolamentos móveis ou estáticos, que são sempre partes críticas e de difícil solução, uma vez que normalmente são constituídos por o-ring de borracha e que devido às fricções se desgastam devem de ser substituídas muito frequentemente para evitar fugas do produto. Outro problema é a obstrução da saída da bomba, neste caso existe um aumento de pressão dentro da bomba e a substância pode-se autoinflamar.

### 2.5.2 IGNIÇÃO

Sem a ignição não se produziriam as explosões nem os incêndios. A sua existência leva ao processo ou o ato de iniciar uma combustão numa reação química exotérmica entre uma substância (o combustível) e um gás (o comburente).

#### 2.5.2.1 FONTES DE IGNIÇÃO

Num ambiente industrial, quase tudo pode servir como uma fonte de ignição, por exemplo as várias ferramentas de construção e manutenção constituem uma das principais fontes de ignição (equipamento de soldadura, de corte etc.), também os equipamentos elétricos produzem calor que podem servir de ignição (maus contactos podem produzir faíscas, os equipamentos com partes móveis se metálicos podem produzir chispas etc.), assim como os equipamentos que produzem superfícies quentes (compressores, aquecedores etc.).

Os fenómenos naturais também são parte das fontes de ignição, como os relâmpagos, eletricidade estática e a radiação solar (aquecimento das superfícies dos tanques).

### 2.5.2.2 CARACTERÍSTICAS DA IGNIÇÃO

Como sabemos a combustão de uma mistura de combustível-ar somente pode ocorrer se a concentração de combustível se situar-se entre determinados limites (os limites de inflamabilidade) e a existência de uma fonte de ignição (fonte externa como uma chama ou faísca) ou então o aumento da temperatura de uma mistura (o gás atinge a sua temperatura de autoignição).

É importante ter-se o conhecimento das propriedades das misturas, porque dá relevantes informações sobre o comportamento na combustão de uma substância. Estas propriedades são obtidas em laboratórios através de processos experimentais em ambientes controlados.

As propriedades mais relevantes são:

- Temperatura de inflamação;
- Limites de explosão;
- Temperaturas de ignição;
- Hiato experimental máximo de segurança;
- Energia mínima de inflamação (MIE).

Temperatura de inflamação:

A temperatura de inflamação é a temperatura mínima à qual o combustível liberta vapor suficiente para formar uma mistura inflamável como o ar próximo da superfície do líquido ou no interior de um tanque. Se a operação se fizer a temperaturas inferiores à temperatura de inflamação do combustível líquido, este não conduzirá a uma mistura inflamável.

A temperatura de inflamação está normalmente associados aos líquidos, no entanto alguns materiais emitem vapores quando ainda estão no estado sólido.

Limites da explosão:

Um gás inflamável só irá arder, se a concentração do combustível situar-se entre os limites de concentração específicos (o valor mínimo e o valor máximo). Abaixo da concentração mínima do combustível (limite inferior de explosividade – LIE, por vezes designado também como limite inferior de inflamabilidade – LII) a mistura combustível/ar é considerada "pobre" e não inflama. Do mesmo modo, acima da concentração máxima de combustível (Limite superior de inflamabilidade - LSI), a mistura combustível-ar é considerada "muito

rica", e também não se vai inflamar. Estes limites tem como influencia a temperatura e a pressão e é determinado experimentalmente em laboratório.

Quando se pretende que uma mistura de gases ou vapores no ar, não produzam uma atmosfera explosiva, são duas as opções possíveis: o primeiro é manter a concentração abaixo do limite inferior de explosividade e a segunda é manter a concentração acima do limite superior de explosividade. A primeira opção obtém-se com uma ventilação adequada ou deslocar a concentração por meios de extração para o exterior da área perigosa. A segunda opção é normalmente usada dentro dos tanques, reatores, tubos, etc., quando os vapores ou gases inflamáveis ocupam a maior parte ou todo o volume do contentor, ou então o ar é substituído por um gás inerte.

Para as misturas de gases os limites resultantes podem ser calculados pela seguinte equação:

$$LIE_m = \frac{1}{\sum_n \left( \frac{y_i}{LIE_i} \right)} \quad (f.2.5.1)$$

$$LSE_m = \frac{1}{\sum_n \left( \frac{y_i}{LSE_i} \right)} \quad (f.2.5.2)$$

Onde:

$LIE_m$  (vol%) é o limite inferior de explosividade da mistura;

$LSE_m$  (vol%) é o limite superior de explosividade da mistura;

$y_i$  é a fração molar do componente "i" na mistura de combustível.

A conversão do  $LIE_{vol\%}$  em massa por unidade de volume é a seguinte:

$$LIE_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LIE_{v\%} \quad (f.2.5.3)$$

Energia mínima de inflamação (MIE)

É a energia mínima necessária para ativar a inflamação da atmosfera de uma determinada concentração. Este parâmetro é relevante na chamada proteção de segurança intrínseca (ia).

Pode ser calculada por:

$$MIE = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad (f.2.5.4)$$

Onde:

MIE – Energia mínima de ignição;

C – capacidade em (μF);

U – tensão (V).



Estabelecendo uma classificação dos gases do grupo II de acordo com a sua energia mínima de ignição, o que é mostrado na seguinte Tabela:

Grupo	MIE	Gás típico
IIA	$MIE > 250 \mu J$	Propano
IIB	$250 \mu J > MIE > 96 \mu J$	Etileno
IIC	$96 \mu J > MIE$	Hidrogénio

TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO DE GASES (ADAPTADO DE: DANIEL A. CROWL & JOSEPH F. LOWAR)

As fontes de ignição de origem elétrica dependem da uma quantidade de energia mínima para produzir a ativação da atmosfera explosiva, segundo a norma europeia 60079-10, a corrente mínima de ignição (MIC) é a corrente mínima que circula numa carga (que poderá ser um curto-circuito) imediatamente antes de produzir a energia capaz de provocar a ignição da atmosfera explosiva. Na seguinte figura pode-se ver as curvas características do MIC:

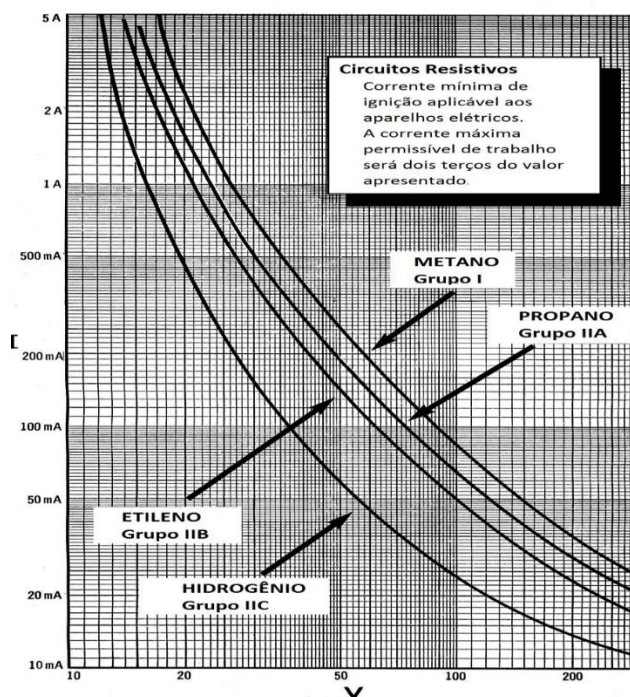


FIGURA 9 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MIC (ADAPTADO DE GROH HEINRICH 2003)

Temperatura de autoignição:

Quando a temperatura de uma mistura inflamável sobe uniformemente e atinge um certo valor, desencadeia-se uma reação que iniciará a combustão espontânea. A este valor chama-se temperatura de ignição ou autoignição, que está diretamente relacionado com a temperatura máxima superficial dos equipamentos que podem entrar em contacto com a substância e que se classificam nas seguintes em classes de temperatura:

Max. Temperatura de superfície °C	Classe de temperatura EU /IEC /US (NEC 505)	Classe de temperatura US (NEC 500)
450	T1	T1
300	T2	T2
280		T2A
260		T2B
230		T2C
215		T2D
200	T3	T3
180		T3A
165		T3B
160		T3C
135	T4	T4
120		T4A
100	T5	T5
85	T6	T6

TABELA 8 – TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Hiato experimental máximo de segurança:

O hiato experimental máximo de segurança (MESG – Maximum Experimental Safe Gap) é definido como o intervalo máximo de uma placa de 25 mm de comprimento que impede qualquer transmissão de uma explosão durante a realização de 10 ensaios em aparelhos normalizados (conforme definido na recomendação EN 60079-1). Este parâmetro está diretamente relacionado com o modo de proteção “d” dos aparelhos antideflagrantes.

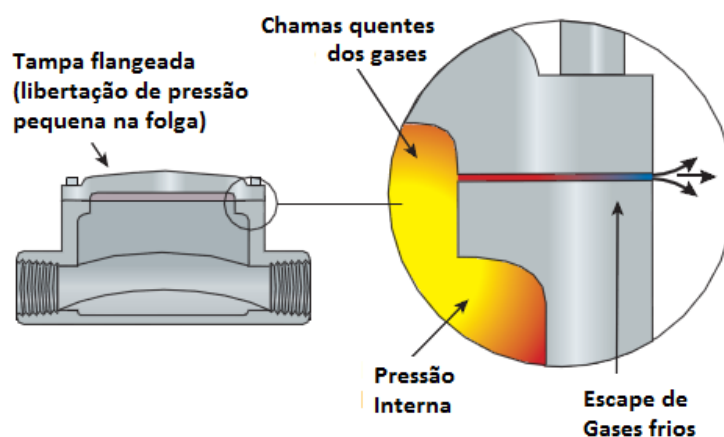


FIGURA 10 PORMENOR DO MESG (FONTE: NFPA)

## 2.6 PRINCÍPIOS DE PROTEÇÃO

O objetivo da proteção contra explosões é, naturalmente, proteger as pessoas dos efeitos nocivos da irradiação, pressão da onda de choque, etc. São utilizados vários princípios de proteção contra explosões nos locais de trabalho. Estes incluem a uniformização das legislações nacionais de vários países, numa legislação europeia única, onde é incluída a observância de vários diplomas legais e de normas técnicas.

### 2.6.1 ANÁLISE DOS RISCOS

Na civilização ocidental, na idade média ficou conhecida pelas inúmeras ameaças à integridade física e saúde das pessoas, e muitas delas, com uma considerável gravidade. A mortalidade infantil era muito elevada e a esperança de vida rondava os 40 anos de idade. Isto devido a doenças, surtos epidémicos, fome com origem nas contingências dos anos agrícolas, às constantes guerras, e às execuções públicas. Neste contexto histórico, a religião, a tradição e a magia, constituíram o sistema de crenças e de regras que serviram, no plano conceptual e comportamental, para lidar com a ameaça e o perigo, permitindo assim um sentimento de controlo sobre a realidade envolvente (LUPTON, 1999:2). O perigo e o dano eram, assim um ato divino, do destino, do acaso, da natureza, não sendo relacionados com a responsabilidade individuais ou coletivas, nem a falha humanas.

Com o passar do tempo, a ciência e o racionalismo alteram este estigma regendo leis que podem prever e medir a sua perigosidade, recorrendo a aplicações de probabilidade e estatística que permite criar instrumentos de cálculo da identificação dos desvios. O conceito de risco passa a ter uma componente técnica, em que a probabilidade pode ser estimada e os acontecimentos podem ser antecipados.

Assim o risco passou a lidar com situações de perigo num futuro próximo ou a longo prazo: isto é, antecipa as situações em que o perigo possa manifestar-se e atingir pessoas e/ou bens materiais, valorizando a probabilidade da sua ocorrência e da estimativa da gravidade dessa ocorrência, relativamente ao qual é necessário conhecer os seus limites para o eliminar, reduzir a um valor aceitável ou controlar as suas consequências.

O risco tem-se estendido e abraça a população num elevado número de pessoas suscetível de ser afetada pelo mesmo e as consequências danosas. Estas têm vindo a crescer exponencialmente devido à perigosidade intrínseca dos sistemas de trabalho atuais.

Neste contexto uma identificação precoce do risco é crucial. Assim para que se possa, considerar uma situação de risco, é necessário a exposição de uma ou mais pessoas ao perigo, que exista uma probabilidade de o evento detonador despoletar um acidente que, no termo do seu percurso accidental, possa provocar um dano de uma determinada gravidade ou que a sua gravidade seja reduzida pela existência e exequibilidade do seu controlo.

Assim o acidente pode definir-se como um evento imprevisto e indesejável de que resulta na lesão, na morte, perdas de produção, danos na propriedade ou no ambiente (HSE, 1993:66) e que compreende elementos permanentes (o perigo) e elementos variáveis (a exposição e o detonador), localizados no tempo e no espaço, a sua gestão que estuda os perigos e sistematiza as práticas de controlo, fornece um modelo sobre o qual se trabalha para se obter os resultados desejados e esperados como na análise do risco que é a decomposição detalhada (identificação do perigo, exposição e estimação) do objeto de estudo que se pretende compreender a caracterização dos riscos em relação à sua fonte, como se desenvolve, quanto à probabilidade da ocorrência e sua extensão assim como as suas consequências.

A identificação de perigos resulta da recolha de informação tal como a legislação pertinente, manuais de instruções das máquinas, fichas de dados de segurança das substâncias, processos e métodos de trabalho, dados estatísticos e relatos das experiências dos trabalhadores etc.

A identificação da exposição dos trabalhadores ou de terceiros (clientes, fornecedores, população) a riscos derivados da anterior identificação dos perigos.

O cálculo dos riscos identificados (qualitativa ou quantitativa), estima a probabilidade do seu aparecimento, assim como a sua frequência e as consequências da concretização do perigo e a sua gravidade ou severidade.

A valoração dos riscos é a etapa final da avaliação dos riscos e corresponde a um processo através do qual se fazem juízos de valor sobre a aceitabilidade do risco, tendo em conta um agregado de fatores e critérios socioeconómicos e ambientais (Lluna, 1999:12).

Assim, nas fases de estimativa e valoração podem-se empregar métodos de avaliação quantitativos como árvores de falhas, diagrama de fiabilidade, árvore de acontecimentos etc., métodos qualitativos como PHA, FMECA, descritivos etc., assim como semi-quantitativos como as Matrizes William T. Fine, Mosler, Marat etc.

Com o intuito de ajudar as organizações na gestão de riscos e numa tentativa de uniformização das legislações nacionais na ultrapassagem das incertezas que tem sobre os objetivos, aparece neste âmbito a norma NP ISO 31000:2013 (é a versão portuguesa da Norma ISO 31000) que providencia uma uniformização da implementação da gestão de riscos, princípios e linhas de orientação e que se adapta a qualquer tipo de organização.

## 2.6.2 GESTÃO DE RISCOS – PRINCÍPIOS E DIRETRIZES NP ISO 31000

"As organizações de todos os tipos e dimensões enfrentam fatores e influências, internos e externos, que tornam incerto se, e quando, atingirão os seus objetivos. O efeito que esta incerteza tem nos seus objetivos de uma organização designa-se por "risco". Todas as atividades de uma organização envolvem risco. As organizações gerem o risco mediante a sua identificação e análise, após o que avaliam a necessidade da sua alteração, tratando-o de forma a satisfazer os seus critérios de risco. Ao longo deste processo comunicam e consultam com as partes interessadas, monitorizando e revendo o risco e meios de controlo que estão a alterá-lo, de forma a assegurarem que não é necessário um tratamento de risco suplementar." (transcrição da NP ISO 31000:2012).

Esta norma está dividida em três áreas distintas, são elas: os princípios, a estrutura e o processo.

Os princípios para tornar mais eficaz a organização, segundo esta norma são: Criar e proteger valores; gestão proactiva; fazer parte na tomada de decisão; levar em consideração a incerteza; uma abordagem sistemática, estruturada e oportuna; Recorre a informações disponíveis e pertinentes; é contextualizada com o perfil interno e externo da organização (feita à medida); leva em consideração os fatores humanos e culturais; é transparente e inclusiva; dinâmica e interativa; a melhoria contínua da organização.

A segunda área é a estrutura que fornece as bases que a organização irá incorporar na sua gestão, que inclui apoio eficaz no decorrer da implementação de processos da coordenação e controlo dos riscos nos diversos níveis da organização, assim como garantir que a informação sobre o risco seja devidamente documentada e que irá servir de base para a tomada de decisão a todo os níveis da organização.

A terceira área é o processo, que faz parte integrante da gestão incorporado na cultura e adaptado ao empreendimento.

. A ISO / IEC 31010 fornece orientação sobre técnicas de avaliação de risco. O “Tratamento de riscos” é o tratamento do risco na seleção de uma ou mais opções para a alteração dos riscos, e implementar essas mesmas opções. A “Monitorização e análise crítica” é o acompanhamento e avaliação do processo de gestão de riscos e controlo de assiduidade ou de acompanhamento por forma a identificar mudanças no nível de desempenho requerido ou esperado, assim como determinação da adequação e eficácia dos objetivos estabelecidos. A “Comunicação e consulta” é o aglomerar de dados distintos que vai dar apoio aos diversos ramos de especialização relacionadas com o risco por forma a facilitarem as trocas de informações pertinentes, exatas e compreensivas, na tabela seguinte está representado a relação com o processo de gestão de riscos.

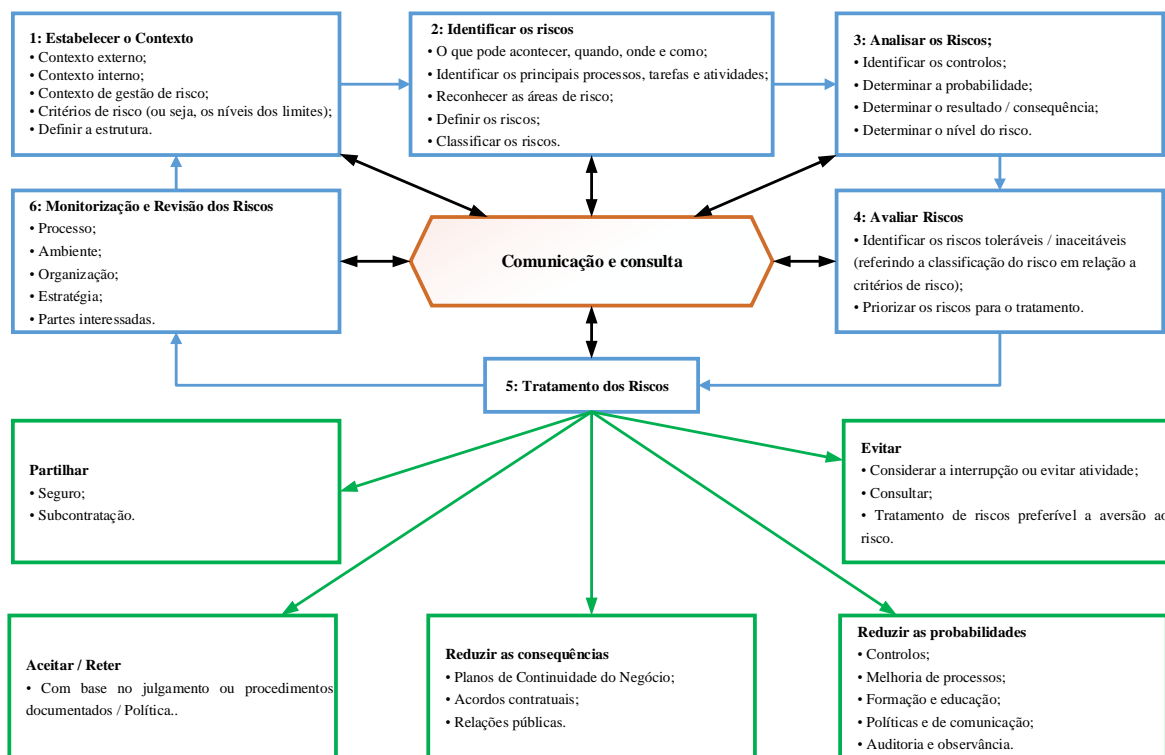


FIGURA 11 – RELACIONAMENTOS DA COMUNICAÇÃO E CONSULTA (ADAPTADO NP ISO 31000)

### 2.6.3 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS, EN 31010

A norma Europeia EN 31010:2010 é uma norma idêntica à ISO/IEC 31010:2009 (Risk management - Risk assessment techniques) que se destina a refletir as boas práticas atuais na seleção e utilização das técnicas para o processo de avaliação de riscos, todas elas já com um grande nível de maturidade e satisfação de consenso internacional. Esta Norma é generalista e orientada para satisfazer muitas áreas e diferentes sistemas, no entanto não

fornece critérios específicos para nenhum em particular, não especifica o método de análise de risco requerido para uma aplicação específica, nem se destina à obtenção de certificação. Segundo esta norma a análise de riscos consiste na determinação das consequências e suas probabilidades para eventos identificados de risco, levando em consideração a presença e a eficácia de quaisquer controlos existentes. As consequências e suas probabilidades são então combinadas para determinar um nível de risco.

Os métodos utilizados na análise de riscos podem ser quantitativos, semi-quantitativos ou qualitativos.

A análise quantitativa estima valores para as consequências e suas probabilidades, e gera valores do nível de risco, as semi-quantitativas utilizam fórmulas com escalas de classificação numérica (lineares ou logarítmicas) para consequência e a probabilidade e as combinam para gerar um nível de risco, por último a avaliação qualitativa define consequência, probabilidade e nível de risco por níveis de significância e avalia o nível de risco resultante em comparação com os critérios qualitativos. Seja qual for o método utilizado, mesmo com uma quantificação pormenorizada dos níveis de risco estes cálculos não deixam de ser estimativas.

#### 2.6.3.1 STRUCTURED “WHAT-IF” TECHNIQUE (SWIFT)

Segundo o Anexo B da Norma EN 31010, secção B.9 com o tema Structured “What-if” Technique, a técnica SWIFT é uma técnica de identificação de perigos que consiste em identificar perigos utilizando um questionário aberto com perguntas tipo “o que aconteceria se..?”, e “se...?” aplicadas a um conjunto de palavras ou frases de “comando” que são usadas pelo técnico num grupo de trabalho para estimular os participantes a identificar riscos. Aplica-se a um sistema, processo, equipamento ou evento e a tudo o que poderá causar um erro ou falha, é um método livre e funciona como um verdadeiro brainstorming.

A técnica SWIFT foi originalmente concebida para o estudo de perigos de instalações químicas e petroquímicas, com a seguinte estrutura de procedimento:

- Preparação das palavras-guia;
- Escolha da equipa de trabalho;
- Revisão dos antecedentes que leva à análise;
- Articulação do propósito da análise;
- Definição dos requisitos.

O conjunto padrão para análise crítica abrangente dos perigos ou riscos, utilizam as seguintes palavras-guia SWIFT:

- Problemas materiais;
- Eventos ou influências externas;
- Erros operacionais e outros fatores humanos;
- Erros analíticos ou de amostragem;
- Equipamento ou mau funcionamento de instrumentação;
- Distúrbios do processo de origem não especificada;
- Falha de serviço público;
- Falha de integridade ou a perda de contenção;
- Operações de emergência;

A classificação de riscos qualitativa ou semi-quantitativa é por vezes utilizada para a avaliação de riscos e para priorizar as ações resultantes, no entanto a técnica SWIFT pode ser utilizada para identificar os riscos e perigos que podem ser levados mais adiante com um estudo quantitativo.

#### 2.6.3.2 HAZOP – HAZARD AND OPERABILITY STUDY;

Segundo o Anexo B da Norma EN 31010, secção B.6 com o tema HAZOP, acrónimo de Hazard (perigo) Operability (operacionalidade). É um processo estruturado e sistemático de análise de perigos (técnica qualitativa) para estudar não só os perigos de um sistema, mas também os seus problemas de operacionalidade.

A técnica Hazop desenvolvida para analisar sistemas de processo químico (pela Imperial Chemical Industries (ICI) no Reino Unido no início de 1970), tanto em processos contínuos como em descontínuos, esta técnica consiste no tratamento dos desvios (diferença entre o valor atual e o esperado) das variáveis de processo (por deficiência de equipamentos ou projeto) para a qual foram projetadas.

O estado normal de um processo é caracterizado pelas suas variáveis tais como:

- Caudal (gás, líquido, corrente elétrica);
- Pressão, temperatura, viscosidade, densidade;
- Nível, instrumentos, vibração;
- Reação, misturas, corrosão, erosão;
- Inspeção, vigilância;
- Reduzir (moagem, esmagamento, etc.);
- Purga, respiradouro;
- Arranque, encerramento.



A técnica Hazop deve ser realizada por uma equipa pluridisciplinar cujo a sua constituição não seja muito elevada em número (não superior a sete) e liderada por um elemento experiente em Hazop, um engenheiro químico, um engenheiro de industrial e um operador de exterior/chefe de turno etc. convém incluir pessoas que não estejam diretamente envolvidas no projeto.

A aplicação desta técnica engloba os passos que se indicam de seguida:

- Dividir o sistema, processo ou procedimento em elementos menores para tornar a análise crítica tangível;
- Acordar a intenção do projeto para cada subsistema, subprocesso e em seguida aplicar as palavras-guia, para verificar possíveis desvios que teriam resultados indesejáveis;
- Quando um resultado indesejável for identificado, sugerir como podem ser tratados para evitar que eles ocorram ou atenuar as suas consequências;
- Documentar os resultados assim como ações específicas para tratar os riscos identificados.

Termos	Definições
Nenhum(a) ou não	Nenhuma parte do resultado pretendido é atingida ou a condição pretendida está ausente
Mais (maior)	Aumento quantitativo na saída ou na condição operacional
Menos (menor)	Diminuição quantitativa
Bem como	Aumento quantitativo (por exemplo, material adicional)
Parte de	Diminuição quantitativa (por exemplo, somente um ou dois componentes em uma mistura)
Reverso/oposto	Oposto (por exemplo, retorno de caudal)
Exceto	Nenhuma parte da intenção é atingida, algo completamente diferente acontece (por exemplo, caudal ou material errado)
Compatibilidade	Material; ambiente

TABELA 9 EXEMPLO DE PALAVRAS GUIA HAZOP

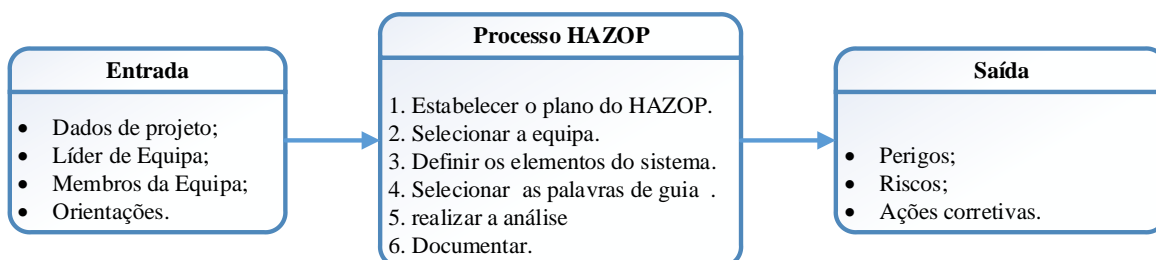


FIGURA 12 – RESUMO HAZOP (ADAPTADO: EN 31010)

Para maiores detalhes consultar a Norma internacional “IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide”.

#### 2.6.3.3 FME – FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS.

Segundo o Anexo B da Norma EN 31010, secção B.13 com o tema FMEA e FMECA.

A Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA) é uma técnica utilizada para identificar as formas em que os componentes, os sistemas ou os processos podem falhar. Isto é quando o componente de um sistema executa inadequadamente uma função ou deixa de executá-la, diz-se que esse componente falhou (o componente pode ser o homem ou o equipamento).

As falhas são fatores do risco que na quase totalidade dos casos os acidentes ocorrem devido à ocorrência de algum tipo de falha Scipioni et al, (2002).

O FMEA foi desenvolvido pelos militares dos EUA como uma técnica de análise formal (procedimento militar MIL-P-1629 agora MIL-STD-1629A).

A Companhia Ford Motor reintroduz o FMEA no final dos anos 1970 para a segurança e considerações regulamentares, após várias automóveis terem explodido acidentalmente o tanque de gasolina.

A Análise dos Modos de Falha, Efeitos e criticidade FMECA estende uma FMEA para que cada modo de falha identificado seja classificado de acordo com sua importância ou criticidade.

Grande parte da função do controlo de riscos consiste em identificar possibilidades de falhas e adotar medidas para eliminá-las, reduzir a sua frequência ou neutralizar os seus efeitos Ebrahimipour, (2009).

A teoria das falhas é uma ferramenta de análise que pode ser feita nas seguintes situações: a primeira é feita após o evento não esperado, o técnico descreve as falhas, identifica causas e analisa as ações empreendidas na deteção e intervenção, a segunda é feita durante o evento, em que as falhas estão a decorrer e precisam ser eliminadas para que sejam controladas.

Esta técnica também é muito útil na fase de planeamento da prevenção de riscos, uma vez que o conhecimento dos prováveis modos de falha que possam ocorrer permitem ao técnico eliminá-los ou minimizá-los, evitando as consequências que deles podem advir.

A técnica FMEA é um método de análise qualitativa e quantitativa utilizada para a avaliação do potencial de modos de falha.

O FMEA é uma técnica que dá respostas a uma série de perguntas como:

- . O que pode falhar?
- . Como ocorre a falha?
- . Com que frequência irá falhar?
- . Quais são os efeitos da falha?
- . Qual é a consequência da falha de segurança?

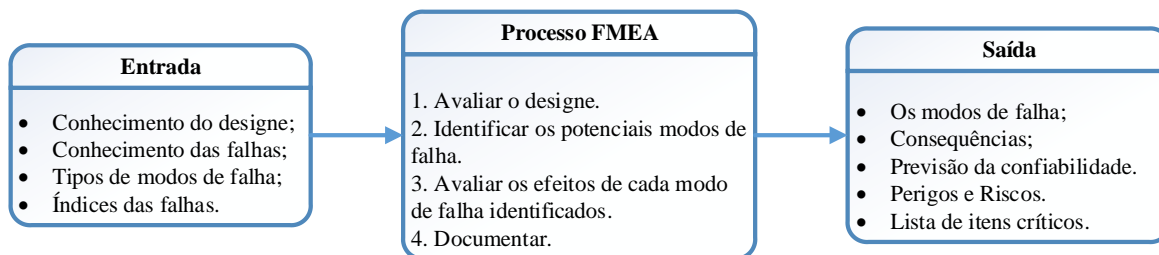


FIGURA 13 – RESUMO FMEA (ADAPTADO: EN 31010)

Para maiores detalhes consultar a Norma internacional “IEC 60812 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)”.

#### 2.6.3.4 FTA – FAULT TREE ANALYSIS

Segundo o Anexo B da Norma EN 31010, secção B.14 com o tema Fault tree analysis (FTA), a análise de árvore de falhas é uma técnica para identificar e analisar os fatores que podem contribuir para um evento específico indesejado (chamado "evento de topo").

A técnica FTA foi inventado e desenvolvido por H. Watson e Allison B. Mearns da Bell Laboratories para uso no Sistema de Orientação Minuteman, Intercontinental Ballistic Missile (ICBM).

Uma árvore de falhas pode ser utilizada qualitativamente para identificar potenciais causas e os caminhos para uma falha (o evento de topo) ou quantitativamente para calcular a probabilidade do evento de topo, dado o conhecimento das probabilidades de eventos causais e começa com uma representação gráfica (utilizando símbolos lógicos) de todas as sequências possíveis para todos os acontecimentos que podem dar origem a um acidente, com a seguinte estrutura:

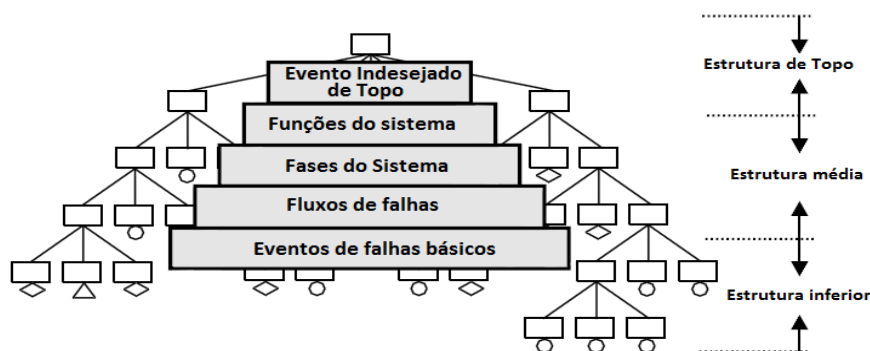


FIGURA 14 – ESTRUTURA GRÁFICADA FTA (ADAPTADO: EN 31010)

Para maiores detalhes consultar a Norma internacional “IEC 61025, Fault tree analysis (FTA)”.

#### 2.6.3.5 ETA – EVENT TREE ANALYSIS.

Segundo o Anexo B da Norma EN 31010, secção B.15 com o tema Event tree analysis (ETA), a análise de árvore de eventos é uma técnica gráfica de estrutura lógica para representar as sequências mutuamente excludentes de eventos após um evento iniciador de acordo com o funcionamento ou não dos vários sistemas projetados para mitigar as suas consequências.

ETA alegadamente foi desenvolvida durante o estudo de segurança para o reator de uma central nuclear o WASH-1400 para a comissão reguladora nuclear por volta de 1974.

A ETA pode ser utilizada para modelagem, cálculo e classificação (do ponto de vista de um risco) de diferentes cenários de acidentes após o evento iniciador como na seguinte figura:

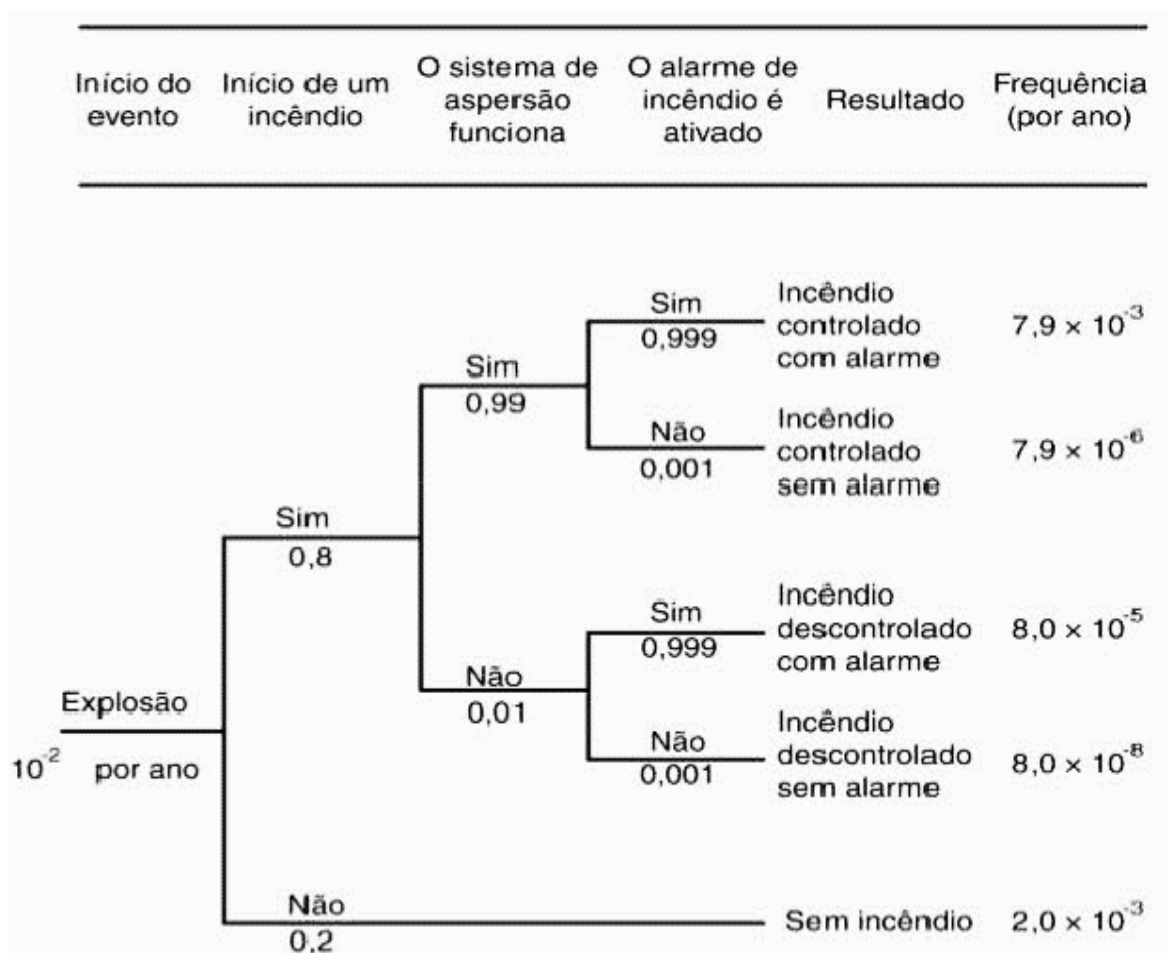


FIGURA 15 – EXEMPLO DE UMA ÁRVORE DE EVENTOS (ADAPTADO: EN 31010)

Para maiores detalhes consultar a Norma internacional "IEC 62502, Event tree analysis (ETA)".

#### 2.6.3.6 CONSEQUENCE /PROBABILITY MATRIX

Segundo o Anexo B da Norma EN 31010, secção B.29 com o tema “Consequence / probability matrix”, é uma combinação de classificações (qualitativas ou semiquantitativas) de consequências e probabilidades com o objetivo de obter uma classificação ou nível de risco.

O formato da matriz e as definições a ela aplicadas foi a adotada para a análise de riscos de atmosferas explosivas utilizado no estudo de caso. Esta metodologia foi preferida porque é uma ferramenta de seleção comumente utilizada para classificar os riscos, fontes de risco ou tratamentos de risco com base no nível de risco. Esta metodologia irá servir para priorizar quais os riscos que precisam de maior consideração neste momento e também para determinar se um dado risco é de uma forma geral aceitável ou não aceitável de acordo com a sua localização na matriz.

Na sua estimativa do risco as consequências e probabilidades estão muito interligadas com a classificação das áreas com potencialidade para atmosferas explosivas.

A escala de probabilidades e consequências vão de 0 a 3 onde o 0 é para uma zona não classificada e 3 para a zona classificada Zona 0 (gases) ou Zona 20 (poeiras).

Outros parâmetros são tidos em conta como a presença de pessoas, o índice de explosividade das substâncias envolvidas, o volume da nuvem do gás, o ambiente etc.

Este método é descrito em maior detalhe mais à frente no desenvolvimento da metodologia para o estudo de caso.

O sucesso desta ferramenta vai depender da especialização pertinente da equipa e da qualidade dos dados disponíveis para auxiliar nas avaliações de consequência e probabilidade.

#### 2.6.4 PREVENÇÃO E PROTEÇÃO DE EXPLOSÕES, EN 1127-1:2007

A norma EN 1127-1:2007 foi elaborada CEN a pedido da CEC (Central European Countries) e da EFTA (European Free Trade Association) para cumprir com a Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2006 máquinas que demandas em seu Anexo I, Cláusula 1.5.7 que as máquinas devem ser concebidos e construídos de tal forma que para evitar qualquer risco de explosão, bem como a Diretiva 94/9/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 23 de março de 1994, relativa à aproximação das leis dos Estados

membros sobre aparelhos e sistemas de proteção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Esta Norma Europeia especifica o método para a identificação e avaliação de situações de risco que levam a uma explosão, isto é conseguido através da seguinte forma:

- Identificação de perigos
- Elementos de avaliação de riscos
- Redução de riscos

Identificação de perigos:

- a) Propriedades de combustão - Uma vez que não é o material em si que representa o perigo em potencial, mas a sua mistura com o ar, as propriedades da mistura da substância inflamável com ar devem de ser determinadas. Estas propriedades dão informações sobre o comportamento da combustão de uma substância e se podem dar origem a incêndios ou explosões. Os dados mais relevantes são:
  - ✓ O ponto de inflamação;
  - ✓ Os Limites de explosão (LIE, LSE);
  - ✓ O limite da concentração de oxigênio (LOC).
- b) Requisitos de ignição – As propriedades de ignição da atmosfera explosiva devem ser determinadas. Os dados mais relevantes são:
  - ✓ A energia mínima de ignição;
  - ✓ A temperatura de ignição de uma atmosfera explosiva;
  - ✓ A temperatura mínima de ignição de uma camada de pó.
- c) O comportamento Explosivo – O comportamento da atmosfera explosiva após a ignição é caracterizado pelos dados, tais como:
  - ✓ A pressão de explosão máxima ( $p_{max}$ );
  - ✓ A taxa máxima do aumento de pressão ( $(dp/dt)_{max}$ );
  - ✓ O hiato máximo experimental seguro (MESG – Maximum experimental safe gap).

Elementos de avaliação de riscos:

- a) A determinação da probabilidade da ocorrência de uma atmosfera explosiva – A ocorrência de uma atmosfera explosiva perigosa é dependente do seguinte:
  - ✓ A presença de uma substância inflamável;
  - ✓ O grau de dispersão da substância inflamável;

- ✓ A concentração da substância inflamável no ar (dentro da banda de explosão);
  - ✓ A quantidade de atmosfera explosiva suficiente para causar lesões ou danos por ignição.
- b) A determinação da presença de fontes de ignição eficazes – A capacidade de ignição da fonte de ignição, deve ser comparado com as propriedades de ignição da substância inflamável como se segue:
- ✓ As superfícies quentes – Uma superfície quente pode agir como uma fonte de ignição, mas também uma camada de pó ou um combustível sólido em contacto com uma superfície quente e inflamado pela superfície quente também pode agir como uma fonte de ignição para uma atmosfera explosiva;
  - ✓ Chamas e gases quentes – As chamas estão associadas a temperaturas superiores a 1000 °C, as chamas, mesmo as muito pequenas, estão entre as fontes mais eficazes de ignição;
  - ✓ Faíscas geradas mecanicamente – Em resultado de processos de fricção, impacto ou abrasão, as partículas (faíscas) podem inflamar os gases e vapores combustíveis;
  - ✓ Os aparelhos elétricos – Os aparelhos elétricos produzem faíscas elétricas e superfícies quentes que podem ocorrer como fontes de ignição;
  - ✓ Correntes elétricas – Em resultado de um curto-circuito ou de um curto-circuito para a terra devido a falhas nas instalações elétricas;
  - ✓ A eletricidade estática – Descargas de estática pode inflamar quase todas as atmosferas explosivas de gás e vapor;
  - ✓ Relâmpagos - Se um raio atinge em uma atmosfera explosiva, ocorrerá sempre a ignição;
  - ✓ Rádio frequência, ondas eletromagnéticas, radiação ionizante, ultrassons – Também são fontes de ignição.
- c) Estimar os possíveis efeitos de uma explosão – No caso de uma explosão, os possíveis efeitos do seguinte itens devem ser considerados:
- ✓ As chamas;
  - ✓ A radiação térmica;
  - ✓ As ondas de pressão;

- ✓ A projeção de detritos;
- ✓ A libertação de materiais perigosos.

As consequências do acima estão relacionados com:

- ✓ As propriedades físicas e química das substâncias inflamáveis;
- ✓ A quantidade e o confinamento da atmosfera explosiva;
- ✓ A geometria do ambiente envolvente;
- ✓ A força do involucro e estruturas de apoio;
- ✓ Os equipamentos de proteção usado pelos trabalhadores;
- ✓ As propriedades físicas dos objetos em destruição.

A redução do risco:

A necessidade de coincidir uma atmosfera explosiva a uma fonte de ignição eficaz e sabendo os efeitos esperados de uma explosão – leva imediatamente aos princípios básicos de prevenção de explosões:

- a) Prevenção – Evitar atmosferas explosivas modificando a concentração da substância inflamável para um valor fora do intervalo de explosão ou a concentração de oxigénio para um valor abaixo da concentração limite de oxigénio (LOC) ou evitar qualquer possível fonte de ignição eficaz;
- b) Proteção – limitar os efeitos das explosões a um nível aceitável através de medidas de proteção de construção. Em contraste com as duas medidas acima descritas, aqui a possibilidade de uma explosão é aceite.

## 2.7 ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO

A legislação fornece aos trabalhadores padrões mínimos de segurança e saúde no local de trabalho (Lei n.º 102/2009). Quando necessário podem ser complementados com outras formas e mecanismos de proteção (NP, NE, IEC, ISO), através de uma legislação mais estruturada e específica o que a torna mais eficaz.

Embora a legislação de SST represente a estrutura legal para proteger os trabalhadores, esta só é eficaz quando é sustentada pela sua efetiva fiscalização por parte da Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT). Sem estas inspeções efetivas e adequadas, nem todos os empregadores se sentem obrigados a cumprir as Leis, normas e as suas regulamentações nesta área, no que respeita ao local de trabalho.



O antigo sistema jurídico Português era baseado no direito romano (a legislação foi compilada em três grandes códigos o Código Afonsino, o Código Manuelino e o Código Filipino), até ao aparecimento do primeiro Código Civil que foi aprovado em 1867. A Legislação Portuguesa foi influenciada pelo direito francês até finais do século XIX, a partir desta data o direito alemão tem sido a principal influência. As principais leis incluem a Constituição (1976), o Código Civil (1966) e o Código Penal (1982). Outras leis relevantes são o Código do Trabalho (Lei 7/2009) assim como Regime jurídico da promoção da Segurança e Saúde no trabalho (Lei 102/2009).

O Decreto-Lei n.º 112/96 de 5 de Agosto - Estabelece as regras de segurança e de saúde relativa aos aparelhos, sistemas de proteção, dispositivos de segurança, de controlo e de regulação destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, transpondo para o direito interno a Diretiva n.º 94/9/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Março.

A Portaria n.º 341/97 de 21 de Maio – Este diploma estabelece as regras relativas à segurança e saúde dos aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 94/9/CE, de 23 de Março.

O Decreto-Lei n.º 236/2003 de 30 de Setembro – Este diploma estabelece as regras de proteção dos trabalhadores contra os riscos de exposição a atmosferas explosivas, que procedem à transposição da Diretiva n.º 1999/92/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro.

O Despacho n.º 4321/2007 de 9 de Março – Lista das normas harmonizadas no âmbito de aplicação da diretiva relativa aos aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, ao abrigo do n.º 1 do artigo 16º e para efeito do n.º 2 do artigo 7º, ambos do Decreto-Lei n.º 112/96, de 5 de Agosto, e de acordo com a comunicação da Comissão Europeia n.º 2013/C 128/03, de 04 de Maio, é publicada uma lista das normas portuguesas que transpõem as normas harmonizadas do âmbito da Diretiva n.º 94/9/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Março, relativa aos aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Reconhecida a necessidade de legislação específica e atenta a dimensão global, os estados membros da União Europeia (UE) abrem mão de parte da sua soberania e passam a aceitar

a decisão dos tratados, através da supremacia do ordenamento supranacional sobre o nacional. A UE aplica um conjunto de regras básicas de forma a proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores. Para este efeito, as diretivas estabelecem obrigações para as entidades patronais e para os trabalhadores, nomeadamente identificar perigos e avaliar risco para limitar os acidentes de trabalho e as doenças profissionais. Estas diretivas são transportadas para a ordem jurídica interna nas formas de Leis, Decreto-lei etc.

Diretiva 94/9/EC – ATEX 95 (Diretiva já transposta através do Decreto-Lei n.º 112/96), regulamenta os equipamentos e sistemas de proteção destinados ao uso em atmosferas potencialmente explosivas, os dispositivos de segurança e controladores para o uso fora da área perigosa, mas essenciais para o funcionamento em segurança dos referidos equipamentos, também são abordados. Esta diretiva aplica-se a equipamentos elétricos e não elétricos em ambientes com gases, vapores, nevoas e poeiras explosivas.

Diretiva 99/92/EC – ATEX 137 (Diretiva já transposta através do Decreto-Lei n.º 236/2003), Relativa às prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores suscetíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas (15.ª diretiva especial, na aceção do n.º 1 do artigo 16.º da Diretiva 89/391/CEE),

A Normalização iniciou-se há cerca de um século, altura em que a indústria teve o seu grande desenvolvimento, os países sentiram a necessidade de definir regras para a utilização, em segurança, principalmente no setor elétrico.

As normas mais relevantes para atmosferas potencialmente explosivas são: EN 1127:2011 - Prevenção de explosões e proteção; EN 60079-10 – Equipamento elétrico para atmosferas explosivas, Classificação de áreas.

As normas Portuguesas mais relevantes são: NP ISO 31000:2013 - Gestão do risco. Princípios e linhas de orientação; NP 2626-426:2009 - Vocabulário Eletrotécnico Internacional. Capítulo 426: Equipamentos para atmosferas explosivas.

As normas internacionais relevantes são: National Electrical Code Handbook 12th ed - M. Earley, et al., (NFPA, 2011): ARTICLE 500 – Hazardous (Classified) Locations,

Este tema encontra-se mais desenvolvido e em detalho no apêndice C.

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGIAS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

A atividade fabril está associada a riscos considerados como aceites dentro de certos limites, isto verifica-se tanto em ambientes confinados como em espaços abertos e de certa forma quase instintiva e inconsciente. Os trabalhadores avaliam nas suas atividades diárias a situação com potencial de perigo e atribuí um determinado grau de risco sobre a qual conscientemente tomam uma decisão. Desta forma a segurança é substituída por risco aceitável. Os riscos inerentes exigem um certo nível de segurança tendo em consideração a atividade ou a instalação e a segurança nela investida, persistindo os riscos a reter. Compete à entidade empregadora dar resposta a este tipo de riscos através da gestão de riscos.

As metodologias estudadas no desenvolvimento deste trabalho resulta da conjunção de dois métodos distintos: a avaliação de riscos de atmosferas explosivas e a classificação de áreas perigosas.

Com estes métodos semi-quantitativos apresentados de seguida, os elementos de risco, tais como: a probabilidade de ocorrência, frequência de exposição e as consequências são indicados por um valor numérico que representa um conceito de qualidade.

Os valores numéricos são então combinados em várias formas de se obter um valor de risco pseudo-quantitativo que permite uma análise de riscos de explosão, a avaliação da extensão e, em especial, a definição das prioridades de prevenção.

No fluxograma que se segue está representado um procedimento genérico de análise de riscos de explosão que visa a identificação de condições que possam levar à formação de atmosferas explosivas e o correspondente grau de risco.

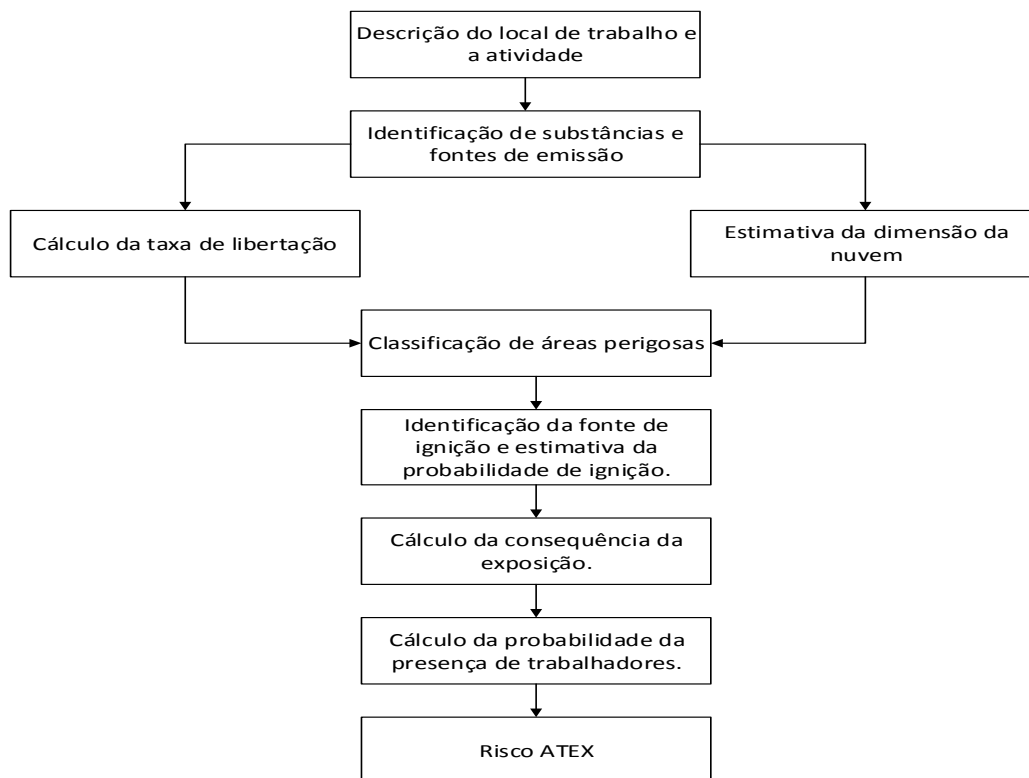


FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DE RISCO ATEX (ADAPTADO: EN 31010)

## 3.2 METODOLOGIAS PARA AMBIENTES EXPLOSIVOS

### 3.2.1 AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS (ARIA)

Em relação às atmosferas explosivas, esta metodologia foi implementada e desenvolvida pela ARIA (Analysis of Industrial and Environmental Risks) em parceria com aInnHF (Innovation through Human Factors in risk analysis and management) que permite uma abordagem ao risco de explosão, levando em conta os processos e as instalações. O que conduz a uma correta identificação das fontes de perigo que proporcionam a formação de atmosferas explosivas, assim como das possíveis fontes de ignição.

Os princípios orientadores levados em consideração no processo de avaliação de riscos de atmosferas explosivas estão divididos em cinco etapas, a fim de cumprir o artigo 4.º da Diretiva 1999/92/CE, sendo as duas primeiras de vital importância (a primeira a possibilidade de se formar atmosfera explosiva perigosa nas condições atuais, seguida, da eventualidade de essas atmosferas se inflamarem), que são elas:

1. Identificação de perigo de explosão e determinação da ocorrência de uma atmosfera explosiva perigosa.

É fundamental em qualquer avaliação de risco a identificação sistemática dos perigos razoavelmente previsíveis ou seja pressupõe-se que, quando estamos na presença de uma substância perigosa e a um equipamento associado ao mesmo, mais tarde ou mais cedo irá levar a um evento não esperado, se não forem tomadas medidas para a sua eliminação ou proteção. Isto implica que somente quando forem identificados os perigos é que podem ser tomadas medidas para os eliminar ou reduzir os riscos.

Para levar a cabo esta identificação de perigos, identifica-se as operações a serem realizadas pelos equipamentos e as tarefas a serem executadas por pessoas que interagem com ele, tendo em conta as diferentes partes, mecanismos ou funções dos equipamentos, os materiais a serem transformados, o ambiente em que o equipamento está implementado.

Além disso, os riscos razoavelmente previsíveis, situações de risco ou eventos perigosos que não estão relacionado diretamente com as tarefas poderão ser identificadas também (por exemplo: eventos sísmicos, raios, ruídos, avarias de equipamento).

A probabilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva perigosa é avaliada por meio da classificação de áreas, de acordo com EN 60079-10-1 e 61241-10, O fator de correlação entre o índice “P” e a classificação de riscos está representada no quadro seguinte:

Área Classificada	Descrição	Índice P	Atmosfera explosiva Probabilidade
Zona 0/20	Área onde existe permanentemente ou durante longos períodos de tempo ou com frequência uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor, névoa ou uma nuvem de poeira combustível.	3	$P_{Ex} > 10 \%$ $P_{Ex} > 1000 \text{ h/ano}$
Zona 1/21	Área onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação ocasional de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor, névoa ou uma nuvem de poeira combustível.	2	$0,1\% < P_{Ex} < 10\%$ $10 \text{ h/ano} < P_{Ex} < 1000 \text{ h/ano}$
Zona 2/22	Área onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor, névoa ou uma nuvem de poeira combustível, ou onde essa formação, caso se verifique, seja de curta duração.	1	$P_{Ex} < 0,1 \%$ $P_{Ex} < 10 \text{ h/ano}$
Zona NC	Zona não classificada - Uma área em que uma atmosfera explosiva de gás/poeiras, nunca ocorre.	0	

**TABELA 10 – PROBABILIDADE DE ATMOSFERA EXPLOSIVA ÍNDICE “P”**

## 2. Identificação de riscos de ignição e determinação da probabilidade de ocorrência de potenciais fontes de ignição.

Se não for possível prevenir a formação da atmosfera explosiva, deve-se reduzir a probabilidade de estarem presentes em simultâneo e no mesmo local uma atmosfera explosiva perigosa e uma fonte de ignição.

A probabilidade de ocorrência de fontes de ignição efetiva devem ser avaliadas, tendo em conta todas aquelas que pode ser introduzidas como por atividades de manutenção e limpeza.

Quando a probabilidade da ocorrência de ativação efetiva de ignição de uma fonte não se poder estimar, a hipótese deve ser considerada como uma fonte de ignição presente continuamente.

Então, para cada fonte de perigo, devem ser determinados quais os possíveis tipos de fontes de ignição e a sua significância, de todos aqueles que possam entrar em contato com a atmosfera explosiva (EN 1127-1).

A capacidade de ativação efetiva da fonte de ignição devem ser comparadas com as propriedades de ignição da substância inflamável:

- Energia mínima de ignição (MIE-minimum ignition energy);
- Temperatura mínima de ignição de uma atmosfera explosiva;
- Temperatura mínima de ignição das camadas de poeiras.

Para quantificar a probabilidade de ocorrência de cada fonte de ignição, pode-se usar um dos seguintes métodos o FTA, FMEA ou FMECA ou um procedimento analítico específico que pode ser usado para avaliar a probabilidade ou a efetividade da fonte de ignição.

As fontes de ignição devem ser classificados segundo o índice “C” de acordo com a probabilidade de sua ocorrência da seguinte maneira:

Presença	Descrição	Índice C
Continuamente	Fontes de ignição, que podem ocorrer de forma contínua ou frequente.	3
Algumas vezes	Fontes de ignição que podem ocorrer em situações raras	2
Raramente	Fontes de ignição, que podem ocorrer em situações muito raras	1
Nunca	Fontes de ignição que podem nunca ocorrer	0

**TABELA 11 – PRESENÇA DAS FONTES DE IGNIÇÃO ÍNDICE “C”**

### 3. Estimativa dos possíveis efeitos de uma explosão

No processo de exame das consequências de uma explosão, a sua real importância é de subjetiva importância uma vez que em caso de uma explosão ocorrer, é previsível que grandes danos tanto materiais como humanos ocorram.

Para se estimar os possíveis efeitos de uma explosão os seguintes itens serão considerados, por exemplo:

- Chamas e gases quentes;
- Radiação térmica;
- Ondas de pressão;
- Detritos;
- Libertação de materiais perigosos.

A correlação entre o fator “D” e os parâmetros utilizados para avaliar os possíveis efeitos de uma explosão são os seguintes:

Área Classificada	Descrição	Índice D
Zona 0/20	Área onde existe permanentemente ou durante longos períodos de tempo ou com frequência uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor, névoa ou uma nuvem de poeira combustível.	3
Zona 1/21	Área onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação ocasional de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor, névoa ou uma nuvem de poeira combustível.	2
Zona 2/22	Área onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor, névoa ou uma nuvem de poeira combustível, ou onde essa formação, caso se verifique, seja de curta duração.	1
Zona NC	Zona não classificada - Uma área em que uma atmosfera explosiva de gás /poeiras, nunca ocorre.	0

**TABELA 12 – EFEITOS DA DESTRUIÇÃO ÍNDICE “D”**

Ao índice D será adicionado os índices indicados na tabela abaixo (D'):

Parâmetros	Índice		
	0,00	0,25	0,50
Presença de pessoas ( $W_p$ )	Nunca	Ocasional	Contínuo
Índice de explosão de gases ( $K_G$ )	$\leq 500 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$500 < K_G \leq 1000 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$> 1000 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$
Volume da nuvem ( $V_Z$ )	$< 10 \text{ dm}^3$	$10 \leq V_Z < 100 \text{ dm}^3$	$\geq 100 \text{ dm}^3$
Índice de explosão de poeiras ( $K_{ST}$ )	$\leq 200 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$200 < K_{ST} \leq 300 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$> 300 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$
Profundidade das camadas de poeiras ( $L_D$ )	$\leq 5 \text{ mm}$	$5 < L_d \leq 50 \text{ mm}$	$> 50 \text{ mm}$
Confinamento da nuvem ( $C_C$ )	Não confinado	Confinado parcialmente	Completamente confinado

**TABELA 13 – ÍNDICE “D”**

$$D' = D + W_p + K_{ST} + V_Z + L_d + C_C \text{ (poeiras)} \quad (\text{f.3.2.1})$$

$$D' = D + W_p + K_G + V_Z + C_C \text{ (gás)} \quad (\text{f.3.2.2})$$

A exposição de uma pessoa ao perigo influencia a probabilidade de ocorrência de danos, fatores a serem tidas em conta ao estimar o tempo de exposição são, entre outros,

- A necessidade do acesso à zona de perigo (operação normal, a correção de anomalia, manutenção ou reparação, etc.);
- A natureza do acesso (por exemplo, a inserção manual dos materiais);
- O tempo de permanência na zona de perigo;
- O número de pessoas que necessitam de acesso;
- A frequência de acesso.

$$W_p = \left( \frac{A_i}{A_{est}} \right) P_{pe} \quad (\text{f.3.2.3})$$

Onde:  $W_p$  - Presença de pessoas,  $A_i$  - Área de impacto da explosão,  $A_{est}$  - Área do estabelecimento,  $P_{pe}$  - probabilidade da presença de pessoas no estabelecimento.

Tarefa	Probabilidade da presença $P_{pe}$ N.º horas p/ dia
Pessoal de Turnos	0,91
Pessoal de Chefias	0,33
Pessoal de Manutenção	0,11

**TABELA 14 – ÍNDICE DA PRESENÇA DE TRABALHADORES**



#### 4. A avaliação e verificação do nível de proteção pretendido foi alcançado

Após estimativa do risco, a avaliação de risco deve ser realizada para determinar se a redução do risco é necessária. Se for necessária a redução de riscos, então medidas de proteção apropriadas devem ser selecionadas e aplicadas, e repete-se procedimento, como parte deste processo iterativo, o técnico deve verificar se são introduzidos novos riscos ou outros riscos acrescidos quando são aplicadas as novas medidas de proteção. Se existir riscos adicionais, estes serão adicionados à lista de riscos identificados e novas medidas apropriadas de proteção serão necessárias para resolve-las.

O fluxograma seguinte ilustra como se processa a avaliação com vista à identificação e prevenção dos riscos de explosão.

Onde:

- a) Só existirá uma explosão se estiver presente uma substância inflamável no processo em questão.
- b) Se a dispersão atingir um grau necessário e a concentração das substâncias no ar se situar dentro dos limites de explosão, estes valores dependem da capacidade de ignição da mistura formada.
- c) Se for provável a formação de atmosfera explosiva, deve-se determinar o local onde podem surgir e avaliar o potencial de perigo.
- d) Após a formação da atmosfera a sua perigosidade dependerá em função do seu volume, assim como dos danos que poderá causar.
- e) Deve-se evitar a sua formação através de medidas de proteção como o substituir as substâncias inflamáveis, não sendo possível limitar a sua concentração e em situações especiais diluir a atmosfera com substâncias inertes, etc.
- f) A zona 0 é uma área onde se mantém constante ou durante longos períodos uma atmosfera explosiva, a zona 1 é uma área onde poderá ocasionalmente formar atmosferas explosivas e fica normalmente imediatamente ao lado da zona 0, perto das aberturas, aparelhos, equipamentos contíguos à zona, a zona 2 é uma área onde em funcionamento normal não se espera a formação de atmosferas explosivas.

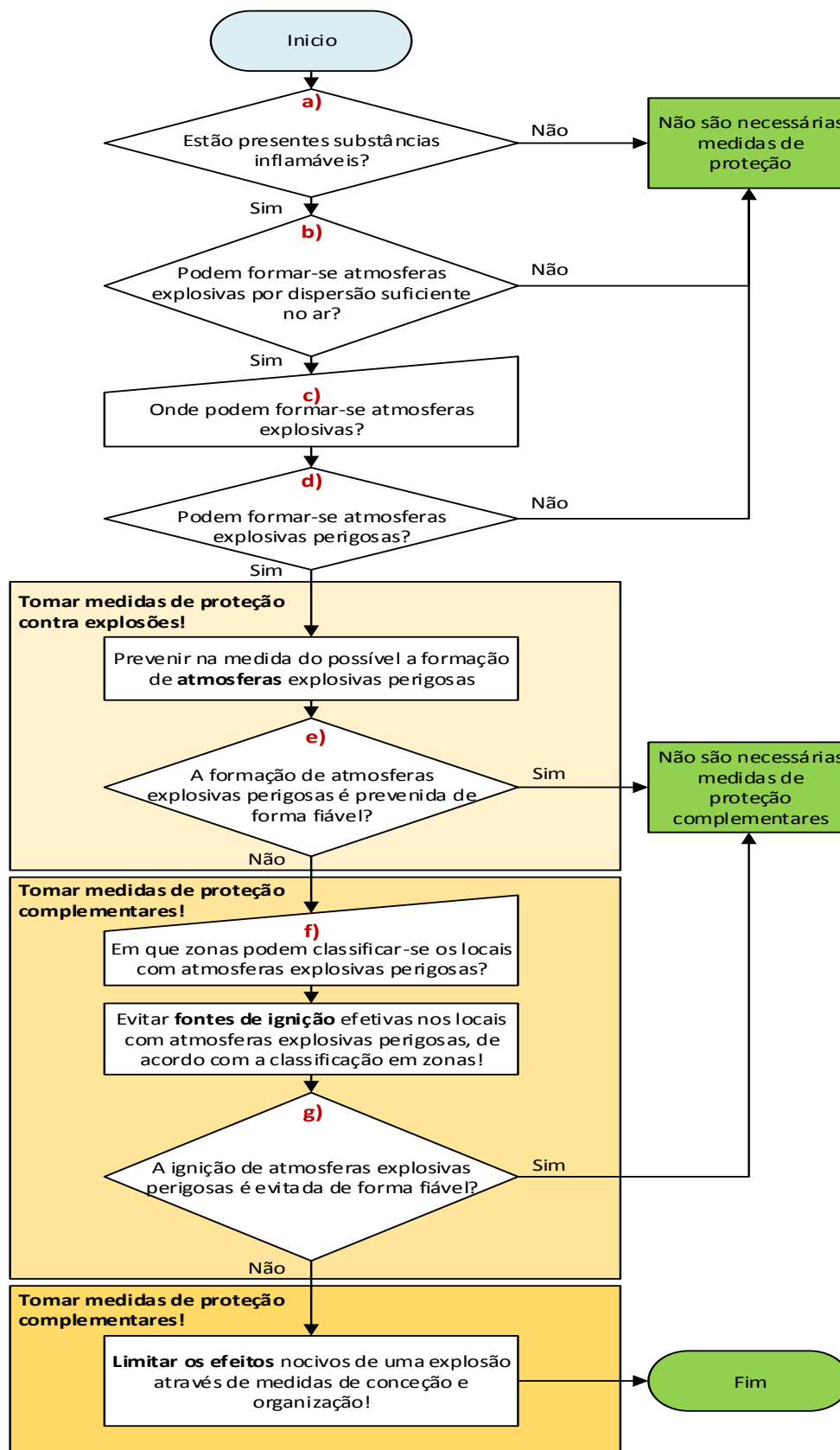


FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DE IDENTIFICAÇÃO E PREVENÇÃO DE EXPLOSÃO (ADAPTADO: EN 31010)

Os seguintes parâmetros devem ser avaliados após se terem tomado as devidas medidas de proteção.

Parâmetros	Índex		
	0	1	2
Presença de pessoas ( $W_p$ )	Nunca	Ocasional	Contínuo
Índice de explosão de gases ( $K_G$ )	$\leq 500 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$500 < K_G \leq 1000 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$> 1000 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$
Volume da nuvem ( $V_Z$ )	$< 10 \text{ dm}^3$	$10 \leq V_Z < 100 \text{ dm}^3$	$\geq 100 \text{ dm}^3$
Índice de explosão de poeiras ( $K_{st}$ )	$\leq 200 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$200 < K_{st} \leq 300 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$	$> 300 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$
Profundidade das camadas de poeiras ( $L_d$ )	$\leq 5 \text{ mm}$	$5 < L_d \leq 50 \text{ mm}$	$> 50 \text{ mm}$
Confinamento da nuvem ( $C_C$ )	Não confinado	Parcialmente confinado	Completamente confinado

**TABELA 15 – PARÂMETROS DE PÓS MEDIDAS DE PROTEÇÃO**

O valor de risco obtém-se através das seguintes equações:

$$R = (P \cdot C \cdot D') + W_p + K_{ST} + V_Z + L_d + C_C \text{ (poeiras)} \quad (\text{f.3.2.4})$$

$$R = (P \cdot C \cdot D') + W_p + K_G + V_Z + C_C \text{ (gás)} \quad (\text{f.3.2.5})$$

Classificação do nível do risco:

Valor do risco R	Risco	Descrição	Medidas
$R \geq 18$	Alto	A probabilidade de uma atmosfera explosiva é alta, existem fontes de ignição efetivas e o nível de exposição é alto, assim com um dano considerável para as pessoas e bens. A probabilidade da propagação da explosão deve ser considerada significativa.	Identificar e implementar medidas imediatas e urgentes para prevenir e controlar a exposição ao risco. A avaliação será repetida mais tarde.
$9 \leq R < 18$	Médio	A probabilidade da presença de atmosferas explosivas é limitada e poderão aparecer fontes de ignição efetivas. Em caso de explosão, o nível de exposição é moderada, com danos moderados para pessoas e bens. A probabilidade da propagação da explosão deve ser considerada limitada.	A exposição é significativa, é necessário fazer melhorias para a proteção e diminuir o risco.
$1 \leq R < 9$	Baixo	A probabilidade da presença de uma atmosfera explosiva é extremamente limitada, bem como a presença de fontes de ignição efetivas. O nível de exposição é baixa, assim como os danos são limitados para as pessoas e bens. A probabilidade de propagação da explosão deve ser considerada extremamente limitada.	Serão consideradas medidas para a redução de riscos, com base em uma avaliação ALARP (tão baixa quanto razoavelmente praticável).

Negligenciável	A presença de uma atmosfera explosiva é quase impossível ou não há efetivamente nenhuma fonte de ignição. O nível de exposição é insignificante, não há danos para as pessoas ou bens. A probabilidade de propagação da explosão é considerada negligenciável.	Nenhuma ação adicional é necessária
----------------	---	-------------------------------------

**TABELA 16 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DO RISCO**

## 5. Consideração das medidas para reduzir os riscos

Fonte de ignição (uma para cada fonte)				
Fontes de ignição (EN 1127-1)	Presença (Sim/Não)	Motivo	Ativo (Sim/Não)	Motivo
Superfícies quentes				
Chamas e gases quentes				
Faíscas geradas por mecanismos				

**TABELA 17 – FONTES DE IGNIÇÃO**

Linha de produto													
Fonte de libertação	Zona	D	D'	V <sub>Z</sub> Volume da nuvem (dm <sup>3</sup> )	C <sub>C</sub> Confinamento da nuvem	W <sub>p</sub> Presença de trabalhadores	K <sub>G</sub> Índice de explosividade do gás	K <sub>ST</sub> Índice de explosividade das poeiras	L <sub>d</sub> Profundidade da camada de poeiras				

**TABELA 18 – FONTES DE LIBERTAÇÃO**

Linha de produto													
Equipamento	Zona	P	C	D'	V <sub>Z</sub>	C <sub>C</sub>	W <sub>p</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>ST</sub>	L <sub>d</sub>			Risco

**TABELA 19 – NÍVEL DO RISCO**

### 3.2.2 AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS (ASL MILÃO)

A Autoridade Local de Saúde de Milão, no contexto do Sistema de Saúde Regional da Lombardia, através do Dr. Mauro Baldissin (técnico de prevenção), desenvolveram a seguinte metodologia de avaliação de riscos para ambientes explosivos, tal como o método anterior é uma avaliação semi-quantitativa.

A avaliação de risco é realizada por meio dos seguintes parâmetros de análise:

- a) A probabilidade da existência do perigo;
- b) A probabilidade de que o risco envolve danos para os trabalhadores;
- c) A severidade dos danos.

Estes fatores estão relacionados entre si pela seguinte relação geral:

$$R = P * C * D \quad (f.3.2.6)$$

Onde:

R - é o risco;

P - é o fator de perigo, que representa a probabilidade de explosão;

C - é o fator de contato, que representa a probabilidade de que a explosão envolva danos às pessoas no local de trabalho;

D - é o fator de dano, o dano que é previsível apenas para as pessoas.

Para os componentes dos fatores da equação de risco, foram adicionados outros elementos:

$P_{EX}$  = probabilidade da presença de uma atmosfera explosiva;

$P_{FI}$  = probabilidade da presença de uma fonte de ignição;

$C_{PE}$  = probabilidade da presença de pessoas durante a explosão;

$C_{EX}$  = magnitude da explosão.

Se existir a probabilidade de explosão ser altamente improvável (fator de “P” ser igual a 1), a estimativa de risco é imediatamente interrompida e é assumido o risco como insignificante em que  $R \leq 4$ .

A identificação dos perigos no local de trabalho tal como o anterior método envolve encontrar substâncias e situações que poderão causar atmosferas explosivas. Os riscos inerentes geralmente surgem dos seguintes aspetos do trabalho e da sua interação: ambiente físico de trabalho, equipamentos, materiais e substâncias utilizadas, as tarefas de trabalho e como eles são executadas.

O fator  $P_{EX}$  coincide com a probabilidade da presença de uma atmosfera explosiva que é determinada pela classificação de áreas com perigo de explosão.

Grau do Fator $P_{EX}$	Definição qualitativa
$P_{EX} 1$	$P_{EX} = 1$ (classificação: Zona NE). A presença de uma atmosfera explosiva é altamente improvável.
$P_{EX} 2$	$P_{EX} = 2$ (classificação: Zona 2 ou 22). A presença de uma atmosfera explosiva é pouco provável.
$P_{EX} 3$	$P_{EX} = 3$ (classificação: Zona 1 ou 21). A presença de uma atmosfera explosiva é provável.
$P_{EX} 4$	$P_{EX} = 4$ (classificação: Zona 0 ou 20). A presença de uma atmosfera explosiva é altamente provável.

**TABELA 20 - FATOR  $P_{EX}$**

O nível do risco aumenta à medida que a probabilidade da presença de atmosfera explosiva e sua ativação aumentar. A ativação está muito ligado à categoria a que corresponde um determinado nível de proteção (Muito Alta, Alta e Normal) que é atribuído pelo fabricante, de acordo com a Diretiva 94/9/CE.

Grau do Fator $P_{FI}$	Definição qualitativa
$P_{FI} 1$	$P_{FI} = 1$ - A presença de uma fonte de ignição é altamente improvável. (Por exemplo, fonte de ignição com nível de proteção adequado para a área).
$P_{FI} 2$	$P_{FI} = 2$ - A presença de uma fonte de ignição é pouco provável. (Por exemplo, fonte de ignição com um nível de segurança um valor abaixo do que exigido na área; fonte de ignição não excluída).
$P_{FI} 3$	$P_{FI} = 3$ - A presença de uma fonte de ignição é provável. (Ex. fonte de ignição que não tenha sido atribuído um nível de segurança, mas, certamente, não são eficazes em operação normal; fonte de ignição, com um nível de segurança de dois valores abaixo do que exigido na área).
$P_{FI} 4$	$P_{FI} = 4$ - A presença de uma fonte de ignição é altamente provável. (Por exemplo, uma fonte de ignição, que não tenha sido atribuído um nível de segurança e que pode-se ativar em operação normal).

**TABELA 21 - FATOR  $P_{FI}$**

O perigo pode existir de uma forma continua ou pode existir ocasionalmente. Quanto mais tempo um perigo estiver presente, maior a probabilidade de resultar em danos físicos.

Matriz P		$P_{EX}$			
		1	2	3	4
$P_{FI}$	1	P1	P1	P1	P1
	2	P1	P2	P2	P3
	3	P1	P2	P4	P4
	4	P1	P3	P4	P4

**TABELA 22 - MATRIZ DO PERIGO**

Grau do Fator P	Definição qualitativa
P 1	P = 1 A explosão é altamente improvável.
P 2	P = 2 A explosão é improvável.
P 3	P = 3 A explosão é provável.
P 4	P = 4 A explosão é altamente provável.

**TABELA 23 - VALOR FINAL DE P**

O tempo que alguém é exposto a um risco, aumenta a probabilidade de que o dano possa resultar.

Grau do Fator $C_{PE}$	Definição qualitativa
$C_{PE} 1$	$C_{PE} = 1$ Presença de pessoas na área do efeito da explosão é altamente improvável. (área sem pessoas: Ex. Tempo de presença $t < 1\%$ do total de horas de trabalho).
$C_{PE} 2$	$C_{PE} = 2$ Presença de pessoas na área do efeito da explosão é pouco provável. (área normalmente sem pessoas: Ex. Tempo de presença $1\% \leq t < 10\%$ do total de horas de trabalho).
$C_{PE} 3$	$C_{PE} = 3$ Presença de pessoas na área do efeito da explosão é provável. (área normalmente com pessoas: Ex. Tempo de presença $10\% \leq t < 50\%$ do total de horas de trabalho).
$C_{PE} 4$	$C_{PE} = 4$ Presença de pessoas na área do efeito da explosão é altamente provável. (lugar constantemente ocupada: Ex. Tempo de presença $t \geq 50\%$ do total de horas de trabalho).

**TABELA 24 - PRESENÇA DE PESSOAS**

Quanto à magnitude das consequências de uma explosão, os dois fatores relevantes e perigosos são: o volume da mistura explosiva ( $V_{EX}$ ) e o Índice de explosão (para os gases  $K_G$  ou para as poeiras  $K_{ST}$ ) estes últimos dependem de pressão e tempo de duração da fase positiva, que são os principais responsáveis pelos danos em seres humanos, e danos estruturais e ambiental.

A obtenção do valor final de  $C_{EX}$  é conseguida através da soma aritmética dos índices dos parâmetros de volume da mistura explosiva ( $V_{EX}$ ) e do índice de explosão ( $K_G$  ou  $K_{ST}$ ).

Grau do Fator C <sub>EX</sub>		Definição qualitativa			
C <sub>EX</sub> 1		C <sub>EX</sub> = 1 Explosão de magnitude insignificante. (soma dos índices = 2).			
C <sub>EX</sub> 2		C <sub>EX</sub> = 2 Explosão de baixa magnitude. (soma dos índices = 3 ÷ 4).			
C <sub>EX</sub> 3		C <sub>EX</sub> = 3 Explosão de média magnitude. (soma dos índices de 5 a 6)			
C <sub>EX</sub> 4		C <sub>EX</sub> = 4 Explosão de alta magnitude. (Soma dos Índices > 6)			
Elementos que formam o fator C <sub>EX</sub>		Índice			
		1	2	3	4
Volume de V <sub>EX</sub> de atmosfera explosiva Em ambiente V <sub>A</sub> Não Confinado (M³)	Zona 0/20	V <sub>EX</sub> < 0,001	0,001 ≤ V <sub>EX</sub> < 0,01	0,01 V <sub>EX</sub> < 0,1	V <sub>EX</sub> ≥ 0,1
	Zona 1/21	V <sub>EX</sub> < 0,01	0,01 ≤ V <sub>EX</sub> < 0,1	0,1 V <sub>EX</sub> < 1	V <sub>EX</sub> ≥ 1
	Zona 2/22	V <sub>EX</sub> < 0,1	0,1 ≤ V <sub>EX</sub> < 1	1 V <sub>EX</sub> < 10	V <sub>EX</sub> ≥ 10
Volume de V <sub>EX</sub> de atmosfera explosiva Em ambiente V <sub>A</sub> Confinado (M³)	Zona 0/20	V <sub>EX</sub> < 0,001	1000 ≤ V <sub>A</sub> /V <sub>EX</sub> < 10000	100 ≤ V <sub>A</sub> /V <sub>EX</sub> < 1000	V <sub>A</sub> /V <sub>EX</sub> < 100
	Zona 1/21	V <sub>EX</sub> < 0,01			
	Zona 2/22	V <sub>EX</sub> < 0,1			
Qualquer	Todas as áreas V <sub>A</sub> /V <sub>EX</sub> > 10000				
Índice de explosão para o gás (bar.m/s)		k <sub>G</sub> = 0	k <sub>G</sub> ≤ 500	500 < k <sub>G</sub> ≤ 1000	k <sub>G</sub> > 1000
Índice de explosão para poeiras (bar.m/s)		k <sub>ST</sub> = 0	k <sub>ST</sub> ≤ 200	200 < k <sub>ST</sub> ≤ 300	k <sub>ST</sub> > 300

**TABELA 25 - FATOR  $C_{EX}$**

Através de interseção dos parâmetros de  $C_{PE}$  e  $C_{EX}$  se obtém o valor final de C.

Matriz C		$C_{PE}$			
		1	2	3	4
$C_{EX}$	1	C1	C1	C1	C1
	2	C1	C2	C2	C3
	3	C1	C2	C4	C4
	4	C1	C3	C4	C4

**TABELA 26 - MATRIZ DA CONSEQUÊNCIA**



Grau do Fator C	Definição qualitativa
C 1	C = 1 Danos pessoais são altamente improváveis.
C 2	C = 2 Danos pessoais são pouco prováveis.
C 3	C = 3 Danos pessoais são prováveis.
C 4	C = 4 Danos pessoais são altamente prováveis.

**TABELA 27 - FATOR DA CONSEQUÊNCIA**

O fogo e as explosões estão na origem de grandes danos pessoais e materiais que se podem estender massivamente e em frações de segundos, a sua valoração qualitativa na análise de risco é a considerada para o pior cenário, a extensão dos danos é muito grave (D = 4).

Grau do Fator D	Definição qualitativa
D 1	D = 1 A extensão dos danos é negligenciável.
D 2	D = 2 A extensão dos danos é ligeira. (Por exemplo, o prognóstico é < 3 dias).
D 3	D = 3 A extensão do dano é grave. (Por exemplo, o prognóstico é > 40 dias).
D 4	D = 4 A extensão dos danos é muito grave. (Por exemplo, o dano é grave, permanente ou morte)

**TABELA 28 - FATOR DO DANO**

A combinação do grau dos fatores enumerados acima fornecem um valor de risco. O fator D é assumido e é sempre igual a 4.

Matriz R		C					
		1	2	3	4		
P	1	Estimativa interrompida (P = 1)				4	D
	2	8	16	24	32	4	
	3	12	24	36	48	4	
	4	16	32	48	64	4	

**TABELA 29 - MATRIZ DO RISCO**

Da avaliação do risco pode resultar na necessidade de se tomar medidas corretivas, com um grau de urgência, de acordo com o esquema abaixo.

RISCO	Descrição
$R \leq 16$	Risco insignificante Manter as condições de segurança
$16 < R \leq 24$	Risco baixo aceitável Melhorias no programa de intervenção no controlo dos riscos a médio e a longo prazo
$24 < R \leq 32$	Risco médio Programa de intervenção no controlo dos riscos a curto prazo
$R > 32$	Risco alto Realização de ação de intervenção no controlo dos riscos imediata

**TABELA 30 - VALORAÇÃO DO RISCO**

### 3.2.3 CRITÉRIOS GERAIS PARA A AVALIAÇÃO DE RISCOS DE EXPLOÇÃO (REPSOL)

As avaliação de riscos de explosão tem em consideração a “probabilidade” de formação de atmosferas explosivas perigosas e as “consequências” associadas, seguindo se os seguintes critérios:

#### PROBABILIDADE

PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
Muito alta	Provavelmente ocorrerá com muita frequência.
Alta	Provavelmente ocorrerá com frequência.
Média alta	Ocorrerá várias vezes.
Média	É provável que ocorra até uma vez.
Média baixa	Improvável, no entanto pode ocorrer.
Baixa	Muito improvável que ocorra alguma vez.
Muito baixa	Improvável a ponto de se supor que não ocorrerá.

**TABELA 31 – PROBABILIDADE AR**

#### CONSEQUÊNCIAS

CONSEQUÊNCIAS	DESCRIÇÃO DOS DANOS HUMANOS E MATERIAIS
Muito alta	Possível ocorrência de mortes ou lesões com incapacidade permanente, ou perda total dos equipamentos.
Alta	Possível ocorrência de lesões ou danos com incapacidade temporária, ou danos importantes nos equipamentos.
Média	Possível ocorrência de lesões ou danos com incapacidade temporária, ou danos reduzidos nos equipamentos.
Baixa	Possível ocorrência de lesões ou danos sem incapacidade temporária ou danos sem importância nos equipamentos.

**TABELA 32 – CONSEQUÊNCIAS AR**

A atribuição do nível de risco obtém-se através da matriz de riscos, a partir da “probabilidade” e “consequência” consideradas, como se segue:

#### MATRIZ DE RISCO

CONSEQUÊNCIAS	PROBABILIDADE						
	Muito alta	Alta	Média alta	Média	Média baixa	Baixa	Muito baixa
Muito alta	<b>G</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>Tl</b>
Alta	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>Tl</b>	<b>Tl</b>
Média	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>Tl</b>	<b>Tl</b>	<b>Tr</b>
Baixa	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>Tl</b>	<b>Tl</b>	<b>Tl</b>	<b>Tr</b>	<b>Tr</b>
Nota: G = Grave, I = Importante, M = Moderado, Tl = Tolerável, Tr = Trivial							

**TABELA 33 - MATRIZ DE RISCO**

#### NÍVEIS DE RISCO

NÍVEL	DESCRIÇÃO
Grave	Situação crítica, requer ação imediata.
Importante	Requer uma ação rápida para reduzir o risco a níveis aceitáveis.
Moderado	Devem tomar-se medidas técnicas corretivas num prazo determinado, para além de se tomarem medidas de controlo organizacionais.
Tolerável	Não é necessário tomar medidas técnicas, basta tomar medidas organizacionais a fim de se reduzir o risco a níveis aceitáveis.
Trivial	Não necessita de intervenção

**TABELA 34 - NÍVEL DE RISCO**

#### 3.2.4 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS PERIGOSAS

Segundo McMillan (1998) O objetivo básico da classificação de área (seja para os riscos de gás, vapor, névoa ou poeira) é identificar a possibilidade de formação de uma atmosfera explosiva existente em um determinado local e, acima de tudo, influenciar os projetos de implementação ou instalação por forma a minimizar esses riscos.

A necessidade de diminuir a incidência de explosões e incêndios no trabalho levou à adoção, pelo Parlamento Europeu e o Conselho, da Diretiva ATEX 1999/92/CE. Tendo em consideração os danos para a saúde (as explosões e os incêndios podem provocar lesões graves e mortes) assim como os danos materiais (os custos reais dos acidentes, principalmente num eventual risco de explosão).

Neste âmbito, em áreas onde quantidades perigosas e concentrações de vapores ou gases inflamáveis podem ocorrer, medidas de proteção devem ser aplicadas de forma a reduzir o risco de explosões.

Neste caso será necessário classificar estas áreas com um método de análise e classificação do ambiente onde possa ocorrer uma atmosfera explosiva de gás, levando em conta os grupos de gás, assim como as respetivas classes de temperatura.

A norma europeia EN 60079-10 normaliza a classificação de áreas onde pode ocorrer a presença de gases ou vapores inflamáveis, de modo a permitir a correta seleção e instalação de equipamentos para uso em áreas classificadas. No entanto não é levado em consideração os efeitos de danos consequenciais, assim como falha catastróficas (como exemplo, à rutura de um reator de processo ou gasoduto, cujos eventos não sejam previsíveis).

#### *3.2.4.1 FONTES DE RISCO*

A classificação de áreas inicia-se com a identificação das fontes de risco e o seu respetivo grau.

Como já referido anteriormente a atmosfera explosiva de gás só apresenta perigo se um gás ou vapor estiver presente com o ar dentro dos limites de explosividade.

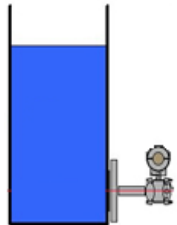


Normalmente as substâncias inflamáveis que podem dar origem às atmosferas perigosas estão contidas em equipamentos de processo que podem ser estanques ou não. Sendo ponderado todo o equipamento do processo como uma potencial fonte de risco de libertação de gás inflamável tanto em funcionamento normal de processamento como em anormal, que é o caso das paragens de emergência e respetivo arranque do processo, além das paragens previstas para manutenção.

Os equipamentos que contiver material inflamável, mas que não tem forma de o libertar devido à sua constituição física como por exemplo uma união soldada de tubulação ou as paredes de um tanque soldadas às camadas não são consideradas fonte de risco. No entanto as aberturas de partes de sistemas de processo fechados como a troca de filtros ou vigias devem ser considerada como fonte de risco.

Se o equipamento pode libertar material inflamável para a atmosfera, é preciso determinar o grau de risco de libertação segundo os parâmetros de frequência e da duração da libertação.

Deve-se também verificar as possibilidades de eliminar algumas das fontes de emissão, caso não seja possível verificar se podemos move-lo para uma zona menos perigosa e longe das fontes de ignição.

Cada fonte de risco deve ser denominada como grau "contínuo", "primário" ou "secundário".

Fonte	Grau de Libertação	Definição	Exemplos
	Contínuo	É uma libertação de material inflamável, que se produz de forma contínua ou presumivelmente durante longos períodos	A superfície de um líquido inflamável num depósito aberto à atmosfera ou com teto fixo sem gás inerte, com respirador permanente à atmosfera, válvulas de alívio.
	Primário	É uma libertação de material inflamável, que se produz presumivelmente de forma periódica ou ocasional durante o período de funcionamento normal.	Selagem das bombas, compressores e válvulas de onde se espera fugas em condições normais, drenagens de água em vasos que contenham líquidos inflamáveis, pontos de recolha de amostras de tanques, reatores com substâncias inflamáveis.
	Secundário	É uma libertação de material inflamável, que não se prevê em funcionamento normal e se produz é provável que ocorra infrequentemente e em períodos de curta duração.	Selagem das bombas, compressores, válvulas, flanges, uniões e outros acessórios, onde não se esperam fugas em condições normais de operação.

**TABELA 35 – GRAU DE LIBERTAÇÃO**

Fonte: Adaptado da EN 60079-10

As emissões estruturais são pequenas fugas constantes indesejáveis cuja origem não é de falha ou mau funcionamento, mas da descontinuidade dos componentes como flanges, juntas, válvulas etc.

A sua estimativa não é de fácil avaliação e até pode ser insignificante se o equipamento for novo ou se foi realizado uma manutenção recente, mas com o tempo e dependendo das influências externas, pode se tornar significativo.

Os valores da tabela seguinte são baseados em dados estatísticos da API – publicação n.º 4589:93, e poderão auxiliar na avaliação da emissão de substâncias, tomando como

pressupondo que as manutenções são feitas como previstas nos manuais do fabricante assim como a substituição das peças em reparações devem de respeitar as definições do fabricante.

Componente	Tipo de substância	Emissão estrutural Kg.S <sup>-1</sup>
Juntas (flange ou rosca) acessórios de tubulação	Gás	1,90E-08
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	2,10E-08
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	5,20E-10
Válvulas manuais e automáticas (Excluindo válvulas de segurança e de libertação para a atmosfera)	Gás	5,60E-07
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	1,00E-07
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	1,00E-09
Respiradouros, drenos, esgotos e amostra retirada de válvulas intercetoras (Excluindo válvulas de segurança e de libertação para a atmosfera)	Gás	5,60E-08
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	1,80E-07
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	5,00E-09
Respiradouro com válvula de segurança fechado, válvulas de libertação para a atmosfera fechada, vedação de bombas e compressores, escotilhas, câmaras de visita, braços de carga e qualquer outro componente.	Gás	1,50E-06
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	5,20E-07
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	3,00E-09
(1) Produtos com uma densidade inferior a 934 kg/m <sup>3</sup> a 15 ° C; (2) Produtos com uma densidade superior a 934 kg/m <sup>3</sup> a 15 ° C;		

**TABELA 36 – EMISSÕES ESTRUTURAIS.**

Fonte: CEI 31-35/2012 “Tabella GB.3.3-1”

Válvula de segurança	Pressão de Operação MPa	Vedação exterior fuga máxima admissível Kg . s <sup>-1</sup>
Válvulas com orifício de descarga com diâmetro ≤ 7,8 mm	0,103 - 6,896	1,40E-07
	10,3	2,20E-07
	13	2,80E-07
	17,2 - 41,4	3,60E-07
Válvulas com orifício de descarga com diâmetro > 7,8 mm	0,103 - 6,896	7,10E-08
	10,3	1,10E-07
	13	1,40E-07
	17,2	1,80E-07
	20,7	2,20E-07
	27,6	2,80E-07
	38,5	3,60E-07
	41,4	3,60E-07

**TABELA 37 – VÁLVULAS DE SEGURANÇA, EMISSÕES ESTRUTURAIS**

Fonte: CEI 31-35/2012 “Tabella GB.3.3-2”

Em geral as dimensões dos orifícios de libertação são determinados na base da experiência prática e considerações de engenharia. As dimensões devem ser vistas caso a caso, assim, o tamanho dos orifícios da emissão devido a falhas podem ser maiores ou menores do que as sugeridas:

Equipamento	Componente	Diâmetro do furo m <sup>2</sup>
Flange	Junta de fibra comprimida.	2,50E-06
	Junta espirometálica; Junta Grafoil <sup>R</sup> ; Junta teflon.	2,50E-07
	Juntas roscadas; Junta em anel metálico.	5,00E-07
Válvula manual; Auto ON-OFF	∅ Tubulação ≤ 150 mm	2,50E-07
	∅ Tubulação ≤ 1500 mm	2,50E-06
	Uso intensivo, qualquer diâmetro.	2,50E-06
Válvula regulação automática.	Vedação da haste com empanque	2,50E-06
	Vedação da haste com fole	2,50E-07
Válvula de segurança; Disco de rutura; Guarda hidráulico.	Para SV sem vedante entre a sede e o obturador (a variação depende da pressão do processo).	1E-6 A 0,25E-6
Bombas centrífugas com vedantes mecânicos.	Com vedação mecânica, sem o anel.	2,50E-05
	Com vedação mecânica equipado com anel.	5,00E-06
	Lascar ou arranhar o anel de vedação.	10 x o diâmetro da perda estrutural.
Compressores alternativos	Emissões das juntas e outros pontos da camara.	1E-6 e 5E-6 por defeito: 2,5E-6
Compressores centrífugos d=150mm	Com vedação tipo labirinto	5,00E-06
	Com anel flutuante	1,00E-06
Uniões pequenas	Ligação da instrumentação de processo.	0,1E-6 e 1E-6 por defeito: 0,25E-6

**TABELA 38 DIÂMETRO DO FURO DE LIBERTAÇÃO NORMALIZADO**

Fonte: CEI 31-35/2012

#### 3.2.4.2 TIPOS DE ZONAS

Uma área classificada é a área na qual está presente ou existe a probabilidade de se formar uma atmosfera explosiva de gás, em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos dentro dos limites físicos da área.

Estas áreas classificadas são divididas em zonas, que são baseadas na frequência da ocorrência e da duração de persistência da atmosfera explosiva de gás.

A probabilidade da presença de uma atmosfera explosiva de gás bem como o tipo de zona dependem, principalmente, do grau da fonte de risco e da ventilação no local.

O Decreto-Lei n.º 236/2003 de 30 de Setembro, no seu artigo 4.º classifica as áreas perigosas como:

- a) Zona 0 — área onde existe permanentemente ou durante longos períodos de tempo ou com frequência uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor ou névoa;
- b) Zona 1 — área onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação ocasional de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor ou névoa;
- c) Zona 2 — área onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor ou névoa, ou onde essa formação, caso se verifique, seja de curta duração;
- d) Zona 20 — área onde existe permanentemente ou durante longos períodos de tempo ou com frequência uma atmosfera explosiva sob a forma de uma nuvem de poeira combustível;
- e) Zona 21 — área onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação ocasional de uma atmosfera explosiva sob a forma de uma nuvem de poeira combustível;
- f) Zona 22 — área onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de uma atmosfera explosiva sob a forma de uma nuvem de poeira combustível, ou onde essa formação, caso se verifique, seja de curta duração.

O tipo de zona é coerente com o grau de emissão da fonte numa relação de causa e efeito, em geral uma emissão de grau contínuo, resultados numa zona 0, uma emissão de primeiro grau, resultada numa zona 1 e uma emissão de segundo grau resulta numa zona 2.



A ventilação é o parâmetro que pode alterar essa correspondência, (uma ventilação deficiente ou a ausência dela, pode levar a um agravamento do tipo de zona, por exemplo: uma emissão de primeira grau pode gerar uma zona 0 em vez de uma zona 1).

A tabela seguinte mostra a influencia que a ventilação tem sobre os tipos de zonas:

Grau da emissão	Grau da ventilação						
	Alto (V <sub>z</sub> < 0,1m <sup>3</sup> )			Médio (V <sub>z</sub> ≤ V <sub>0</sub> )		Baixo (V <sub>z</sub> > V <sub>0</sub> )	
	Disponibilidade da ventilação						
	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa, Satisfatória ou Pobre
Contínuo	Zona 0 NE	Zona 0 NE	Zona 0 NE	Zona 0	Zona 0	Zona 0	Zona 0
	Zona não perigosa <sup>(a)</sup>	Zona 2 <sup>(a)</sup>	Zona 1 <sup>(a)</sup>		+	+	
					Zona 2	Zona 1	
	Zona 1 NE	Zona 1 NE	Zona 1 NE	Zona 1	Zona 1	Zona 1	Zona 1
Primário	Zona não perigosa <sup>(a)</sup>	Zona 2 <sup>(a)</sup>	Zona 2 <sup>(a)</sup>		+	+	Ou
					Zona 2	Zona 2	Zona 0 <sup>(c)</sup>
Secundário <sup>(b)</sup>	Zona 2 NE	Zona 2 NE	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1
	Zona não perigosa <sup>(a)</sup>	Zona não perigosa <sup>(a)</sup>					Igual
							Zona 0 <sup>(c)</sup>

Nota: “+” significa “rodeada por”.

a) Zona 0 NE (Não estendida), 1 NE ou 2 NE indica uma zona teórica que seria de extensão desprezível sob condições normais.

b) A área de Zona 2 criada por uma fonte de risco de grau secundário pode exceder aquelas atribuídas à fonte de risco de grau primário ou contínuo; neste caso, a maior distância deve ser considerada.

c) É Zona 0 se a ventilação for tão fraca e a libertação for tal que na prática existirá uma atmosfera explosiva de gás praticamente de modo contínuo (ou seja: aproxima-se à condição de “não ventilado”).

**TABELA 39 – INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO NO TIPO DE ZONA**

Fonte: Adaptado da EN 60079-10

Se existirem dados fiáveis obtidos no local da implementação de outros equipamentos com as mesmas substâncias inflamáveis e com características semelhantes, tais dados podem ser utilizados para ajustar o tipo e a extensão da zona de perigo.

Os dados se forem obtidos com o cálculo probabilístico, com base em dados estatísticos para a probabilidade de uma atmosfera explosiva, com um grau adequado de confiança, os valores

apresentados na seguinte tabela podem auxiliar em ausência de outras referências (se os valores não forem fiáveis ou com lacunas a abordagem probabilística não é aconselhável).

Zona	Probabilidade de uma atmosfera explosiva em 365 dias
0	$P > 10^{-1}$
1	$10^{-1} \geq P > 10^{-3}$
2	$10^{-3} \geq P > 10^{-5}$

**TABELA 40 – PROBABILIDADES DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS EM ZONAS CLASSIFICADAS**

### 3.2.4.3 TAXA DE LIBERTAÇÃO DE GÁS OU VAPOR

A taxa de libertação do material inflamável, é a quantidade de gás ou vapor inflamável emitida por unidade de tempo pela fonte de risco que influencia em proporção direta a extensão da área classificada, isto é quanto maior for a taxa maior é a extensão. A taxa de libertação depende dos seguintes parâmetros:

- a) Geometria da fonte de risco (por exemplo: uma superfície aberta, uma fuga na flange etc.);
- b) Velocidade de libertação (a taxa de libertação aumenta com a velocidade de libertação que está relacionada à pressão de processo (absoluta));
- c) Concentração (a taxa de libertação aumenta com a concentração de gás ou vapor inflamável na mistura liberada);
- d) Volatilidade de um líquido inflamável (a facilidade da substância de passar do estado líquido ao estado de vapor está relacionada com a pressão de vapor e à entalpia ("calor") de vaporização);
- e) Temperatura do líquido (a pressão de vapor aumenta com a temperatura, desta forma aumentando a taxa de libertação devido à evaporação).

O tamanho de uma nuvem de gás ou vapor inflamável é determinado pela taxa de libertação de vapor inflamável e taxa de dispersão.

Um gás pode-se libertar do sistema de contenção a uma velocidade sónica ou subsónica (encontrando-se no estado gasoso não muda de estado em emissão, isto em fase única).

A velocidade de emissão do gás é sónica, se a pressão no interior do recipiente (pressão absoluta) for maior ou igual à pressão crítica, que se calculada a partir da seguinte fórmula:

$$p_c = p_a \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (\text{f.3.2.7})$$

Onde:  $p_c$  é a pressão crítica,  $p_a$  é a pressão atmosférica e  $\gamma$  é o índice politrópico da expansão adiabática dos gases e que se obtém a partir da seguinte fórmula:

$$\gamma = \frac{M \cdot C_p}{M \cdot C_p - R} \quad (\text{f.3.2.8})$$

Onde:  $M$  é a massa molar e  $C_p$  é o calor específico a pressão constante,  $R$  é a constante universal dos gases.

A obtenção da taxa de libertação ( $Q_g$ ) vai depender da velocidade de emissão, sendo para o regime sónico a seguinte formula:

$$Q_{gmax} = S \cdot p \cdot C_d \sqrt{\gamma \frac{M}{R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)}} \quad (\text{f.3.2.9})$$

$$Q_g = S \cdot p \cdot C_d \cdot \left(\gamma \frac{M}{R \cdot T}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \quad (\text{f.3.2.10})$$

Para o regime subsónico a fórmula:

$$Q_g = S \cdot p \cdot C_d \sqrt{\frac{M}{R \cdot T} \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_0}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right] \cdot \left(\frac{p_0}{p}\right)^{1/\gamma}} \quad (\text{f.3.2.11})$$

Onde:  $S$  é a seção do orifício de emissão,  $p$  é a pressão absoluta dentro do contentor,  $p_0$  é a pressão absoluta imediatamente após a saída do contentor,  $T$  é a temperatura no interior do contentor,  $C_d$  é o coeficiente de difusão,  $M$  a massa molar,  $R$  é a constante universal dos gases,  $\gamma$  é o índice politrópico da expansão adiabática dos gases,

O coeficiente de difusão pode ser facultado pelo fornecedor ou para válvulas de descompressão e de segurança igual a 1,0 e para furos regulares igual a 0,8 ou para orifícios irregulares igual a 0,6.

#### 3.2.4.4 EXTENSÃO DE ZONA

A extensão de zona é a distância estimada ou calculada em qualquer direção da fonte de risco até ao ponto onde a mistura do gás com o ar tenha uma concentração com um valor abaixo do limite inferior de inflamabilidade (normalmente quando existirem gases ou vapores em concentração superior ao limite inferior de explosividade, um aviso sonoro e/ou visual alerta para este evento, através dos sensores de deteção de gases).

Quando se equaciona as extensões calculadas devem ser analisadas a possibilidade de que um gás mais pesado do que o ar possa fluir para área abaixo do nível do solo como em

depressões e quando um gás é mais leve do que o ar possa este possa ser acumulado em um nível superior como sob um telhado.

As propriedades intrínsecas dos materiais inflamáveis assim como os específicos do processo (físicas e químicas), afetam a extensão da zona.

O cálculo da extensão de zona inicia-se com o achar da distância perigosa “ $d_z$ ” que é a distância a partir da fonte de emissão em que a concentração dos gases ou vapores inflamáveis no ar é inferior a “ $k_{dz} \cdot LIE_v$ ”.

$$d_z = K_z \cdot 50 \frac{M^{-0,65}}{K_{dz} \cdot LIE_v} \left( \frac{Q_g}{\varphi \cdot c} \right)^{0,5} \cdot \left( \gamma \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^\beta \right)^{-0,25} \cdot T^{0,25} \quad (f.3.2.12)$$

Onde:  $\gamma$  é o índice politrópico da expansão adiabática dos gases, o  $LIE_v$  é o limite inferior de explosividade (% Vol.),  $M$  a massa molar,  $K_{dz}$  é o coeficiente de segurança aplicado ao LIE para a definição da distância  $d_z$ , os valores típicos de  $K_{dz}$  são entre 0,25 e 0,5 para emissões de grau contínuo e primário, e 0,5 a 0,75 para emissões de grau secundário; o  $K_z$  é o coeficiente de correção a ser aplicado a  $d_z$  que é de valor 1 se a fonte de emissão estiver em ambientes abertos e para ambientes fechados aplica-se a seguinte formula:

$$K_z = e^{\frac{K_1 \cdot X_m \%}{M \cdot LIE_v}} \quad (f.3.2.13)$$

Em que  $X_m$  é a concentração média percentual da substância inflamável,  $K_1 = 13$  para substâncias com massa molar inferior a 5 e  $K_1=82$  para os restantes gases ou vapores.

O  $\varphi$  é o rácio crítico da libertação que é 1 para regime sónico e para o regime subsónico:

$$\varphi = \left( \frac{P_a}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left( 1 \left( \frac{P_a}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)^{-0,5} \cdot \left( \left( \frac{2}{\gamma-1} \right) \cdot \left( \frac{\gamma+1}{2} \right)^\beta \right)^{-0,5} \quad (f.3.2.14)$$

O expoente  $\beta$  é calculado através de:

$$\beta = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \quad (f.3.2.15)$$

Com base na distância  $d_z$ , se assume a cota “a” (extensão efetiva da zona perigosa na direção da emissão e a dispersão mais provável da atmosfera explosiva).

A cota “a” deve de ser no mínimo igual ao valor de  $d_z$ , sendo normalmente superior a este, arredondando-se o valor de  $d_z$  para o valor inteiro seguinte ou se for valores muito pequenos para a casa decimal seguinte.

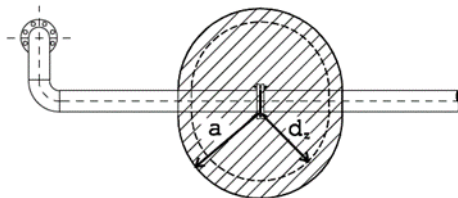


FIGURA 18 – COTA “A”

As extensões típicas das áreas calculadas dependem muito da geometria dos equipamentos, das barreiras, das instalações e da densidade. Sendo apresentado nas seguintes figuras o efeito da densidade:

Densidade entre 0.8 e 1.2

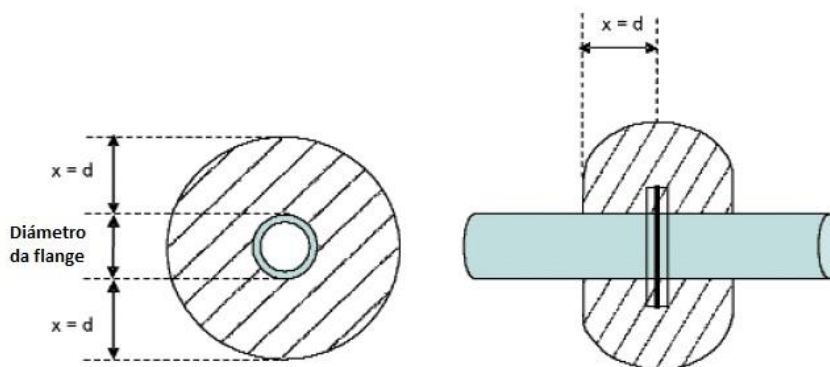


FIGURA 19 – EXTENSÃO PARA DENSIDADES IDÊNTICAS AO AR (FONTE: CETIB)

Densidade superior a 1.2

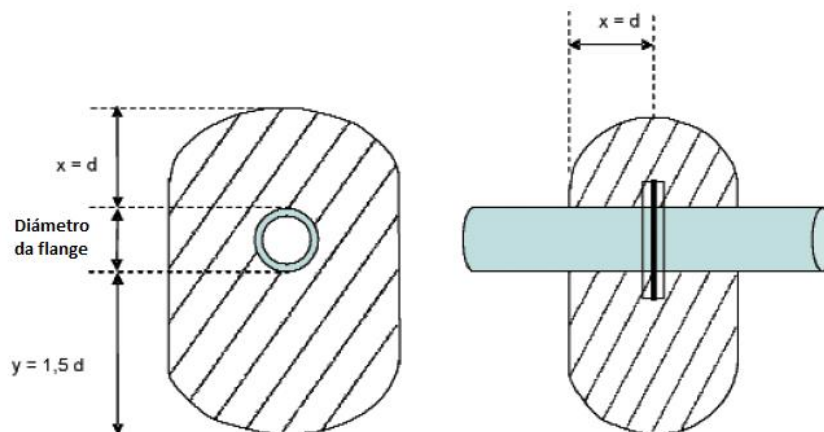


FIGURA 20 – EXTENSÃO PARA DENSIDADES MAIS PESADAS QUE O AR (FONTE: CETIB)

Densidade inferior a 0.8

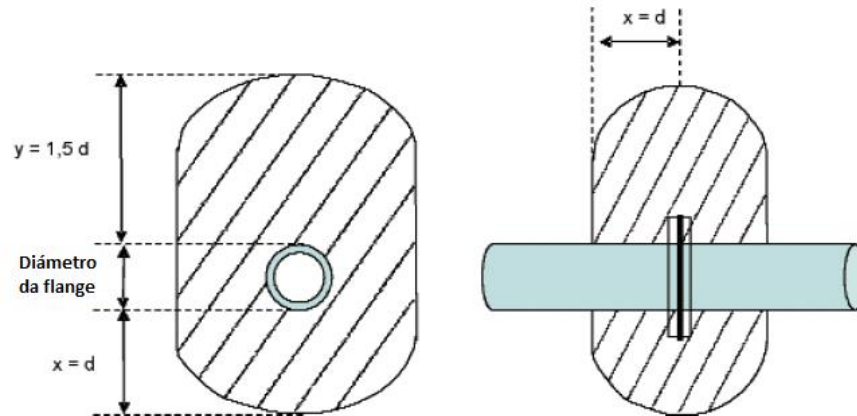


FIGURA 21 – EXTENSÃO PARA DENSIDADES MAIS LEVES QUE O AR (FONTE: CETIB)

Efeito da aproximação da fonte de emissão do chão ou parede

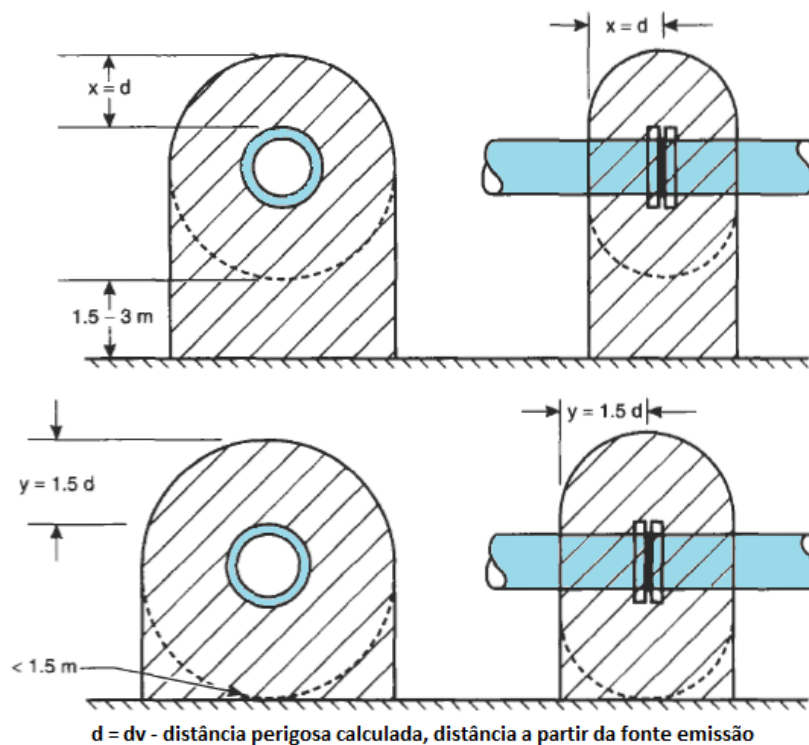


FIGURA 22 – EXTENSÃO POR EFEITO DA APROXIMAÇÃO DO CHÃO OU PAREDE (FONTE: CETIB)

O efeito da disponibilidade da ventilação na extensão das zonas.

Quando a disponibilidade da ventilação é boa, qualquer que seja o grau da ventilação (alto, médio ou baixo), à volta da fonte de emissão está prevista uma só zona. Com emissão de

grau contínuo e primário e grau de ventilação alta e disponibilidade adequada ou pobre, está previsto dois tipos de zonas.

O cálculo do valor da segunda zona é obtido pelo produto de  $d_z$  pela densidade da substância inflamável em questão.

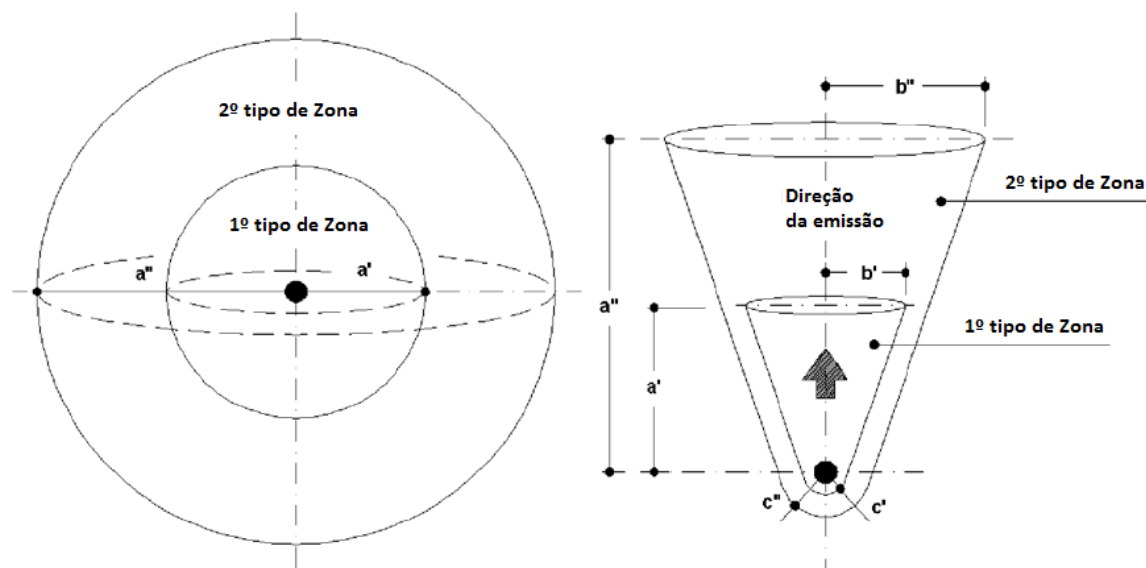


FIGURA 23 – ÁREAS COM DOIS TIPOS DE ZONAS (FONTE: CEI 31-35)

#### 3.2.4.5 VENTILAÇÃO

A ventilação é o movimento de ar à volta da fonte de libertação que pode ser obtida devido à velocidade do vento (ventilação natural) ou por meios mecânicos através do número de trocas de ar por unidade de tempo (ventilação artificial) num circuito que pode ser geral ou localizada, com o objetivo da renovação do ar no volume hipotético (os gases ou vapores libertados na atmosfera podem ser dissolvido por dispersão ou difusão no ar), até que a concentração dos gases ou vapores encontrem-se abaixo do limite inferior de explosividade.

Uma taxa adequada de ventilação evita a persistência de uma atmosfera explosiva de gás na zona de perigosa, o que significa que quanto maior for a ventilação em relação às possíveis taxas de libertação, menor é a extensão da zona da área classificada, chegando mesmo em alguns casos, a reduzir a um valor insignificante tornando esta área em não classificada.

A capacidade de dispersão do gás na atmosfera, aumenta com a velocidade do ar, mas para que ocorra uma difusão turbulenta é necessária uma velocidade mínima de 2-3 m/s, com velocidades inferiores, dá-se a estratificação do gás e para se dispersar, necessita de uma área maior.

O caudal de ventilação de ar devido à pressão do vento ( $Q_{aw}$ ) pode ser calculada depois de se achar a área do plano do movimento do ar ( $A_{aw}$ ) no interior de um cubo correspondente ao volume total para ventilar, dada pela seguinte fórmula:

$$A_{aw} = \left( \frac{1}{\frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2}} \right)^{0,5} \quad (f.3.2.16)$$

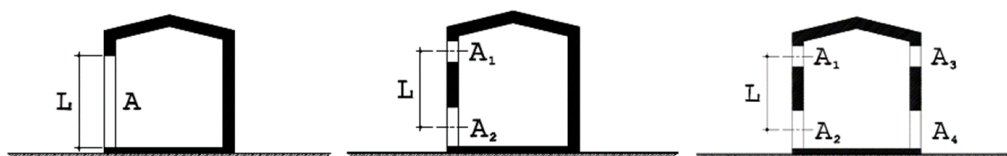


FIGURA 24 – ABERTURAS DA EDIFICAÇÃO (FONTE: CEI 31-35)

Onde:  $A_1$  a  $A_4$  é a área das aberturas da edificação

Sendo a taxa de fluxo de ar devido ao impulso do vento calculada pela fórmula:

$$Q_{aw} = C_s \cdot A_{aw} \cdot w_a \cdot (\Delta C_p)^{0,5} \quad (f.3.2.17)$$

Onde:  $W_a$  é a velocidade de referência do ar, o  $C_s$  é o coeficiente de descarga de uma abertura (o ar em movimento na direção à aspiração, sofre uma diminuição da área do movimento do ar e um aumento de velocidade do ar que altera a pressão estática, causando uma perda na entrada, o  $C_s$  representa esta perda), o  $\Delta C_p$  é o coeficiente da pressão do ar de entrada dada pela seguinte tabela:

$\Delta C_p$	Descrição
0,9	Quando a direção do vento predominante é perpendicular ao plano de entrada do ar e o meio ambiente não fica protegido por outros edifícios ou estruturas.
0,4	Quando a direção do vento predominante é a 45 ° em relação ao plano de entrada do ar e o ambiente não é protegido por outros edifícios ou estruturas, ou, quando a direção do vento predominante é perpendicular ao plano das entradas de ar, mas o ambiente é parcialmente protegido por outros edifícios ou estruturas.
0,2	Quando a direção predominante do vento é inferior a 45 ° em relação ao plano da entrada do ar e o ambiente não é protegido ou é apenas parcialmente protegido.
0,1	Quando o ambiente é protegido por outros edifícios ou estruturas.

TABELA 41 – COEFICIENTE DE PRESSÃO (FONTE: CEI 31-35)

Num ambiente fechado onde há diferenças de temperatura (mínimo de 2 a 3 graus K) com o exterior que se encontra em ambiente aberto, os movimentos do ar (efeito de chaminé) resulta num escoamento do ar por convecção e que pode ser favorecido através de aberturas fixas em baixo nas paredes externas e aberturas ou exaustores no topo das paredes externas.



O caudal de ventilação do ar devido ao efeito de chaminé  $Q_{at}$  pode ser calculado através das seguintes fórmulas:

$$A_{at} = \left( \frac{1}{\frac{1}{(A_1 + A_3)^2} + \frac{1}{(A_2 + A_4)^2}} \right)^{0,5} \quad (f.3.2.18)$$

$$L = \frac{h_1 \cdot A_1 + h_3 \cdot A_3}{A_1 + A_3} - \frac{h_2 \cdot A_2 + h_4 \cdot A_4}{A_2 + A_4} \quad (f.3.2.19)$$

Onde:  $A_1$  a  $A_4$  é as áreas das aberturas,  $h_1$  a  $h_4$  é a altura do chão ao centro das aberturas.

$$Q_{at} = C_s \cdot A_{at} \cdot \left( 2 \cdot g \cdot L \cdot \frac{T_{ai} - T_{ae}}{T_{aie}} \right)^{0,5} \quad (f.3.2.20)$$

Onde:  $C_s$  é o coeficiente de descarga,  $A_{at}$  é a área útil de ventilação,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $L$  é a diferença de cotas do centro das aberturas da ventilação,  $T_{aie}$  é a média das temperaturas de  $T_{ai}$  e  $T_{ae}$  no espaço de um ano,  $T_{ai}$  é a temperatura ambiente interna,  $T_{ae}$  é a temperatura ambiente externa.

Sendo o caudal de ar da ventilação  $Q_a$  neste caso obtido através das fórmulas:

$$Q_a = MAX(Q_{at}, Q_{aw}) \quad (f.3.2.21)$$

Onde o  $Q_a$  assume o valor mais alto dos dois  $Q_{at}$  e  $Q_{aw}$ .

Em que o número de trocas de ar ( $C_a$ ) por unidade de tempo relacionadas com o volume do ambiente livre ( $V_a$ ) é obtido pela seguinte fórmula:

$$C_a = \frac{Q_a}{V_a} \quad (f.3.2.22)$$

A velocidade mínima do ar ( $W_{ai}$ ) é obtido através da seguinte fórmula:

$$W_{ai} = C_a \cdot L_{aw} \quad (f.3.2.23)$$

Onde:  $L_{aw}$  é o comprimento do percurso interno que o ar tem que percorrer.

Ventilação artificial é considerada adequada sempre que se cumpra os seguintes requisitos:

- Sistema de controlo da sua eficácia (monitorização dos caudais);
- Obtenção do ar de uma zona não perigosa;
- O dimensionamento e a configuração do sistema de ventilação têm em conta a quantidade e localização das fontes de emissão, bem como do grau e da taxa de emissão;
- Os obstáculos ou impedimentos à circulação de ar são tidos em conta;
- São consideradas a turbulência e a distribuição das linhas de fluxo do ar;

- Deve ser finalmente avaliadas se devem ou não ser classificadas as condutas dentro do sistema de extração e em torno da saída do ar.

A ventilação artificial, em geral, deve ser mantida dentro dos valores aceitáveis a uma velocidade do ar exigidos pela SST em termos de conforto (de 0,1 m/s a 15° C e 0,3 m/s 25 ° C). Para evitar velocidades do ar muito altas, recorre-se a sistemas de ventilação artificial local (extração) através de campânulas, Hotte de captura lateral ou cabine fachada.

Para fins de cálculo considera-se para ambientes abertos em condições atmosféricas normais os seguintes valores de referência:

- 101 325 Pa (1035 mbar);
- 293 ° K (20° C);
- Ar seco: 20,94% O<sub>2</sub>, 0,03% CO<sub>2</sub>, 79,03% N;
- Wa = 0,5 m/s ou Wa = 0,25 m/s se estiver a menos de 3 metros do solo.

Para se poder enquadrar o tipo de área de risco devido à fonte de emissão, temos que fazer alguns cálculos na obtenção do volume hipotético de atmosfera potencialmente explosiva assim como o tempo de persistência após terminar a libertação.

Antes de iniciarmos a obtenção do caudal mínimo de ar, devemos de ter o LIE na unidade que vamos usar que é a massa em vez de % volume. Assim temos que utilizar a seguinte formula para se converter na unidade necessária:

$$LIE_m = (Kg/m^3) = 0,416 \times 10^{-3} \times M \times LIE_v \frac{p_a}{101325} \quad (f.3.2.24)$$

Onde: M é a massa molar, LIE<sub>v</sub> é o limite inferior de explosividade em % Vol, p<sub>a</sub> é a pressão atmosférica, LIE<sub>m</sub> vem em Kg/m<sup>3</sup>

A fórmula para o caudal de ar mínimo (Q<sub>amin</sub>) para diluir a emissão da substância é a seguinte:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{K \times LIE_m} \times \frac{T_a}{293} \quad (f.3.2.25)$$

Outro fator importante é conhecer o número de trocas de ar (C<sub>0</sub>) existentes no local, mas para isso temos que obter primeiro o valor do comprimento (L<sub>0</sub>) do percurso de ar no volume total a ser ventilado (V<sub>0</sub>) pela seguinte fórmula:

$$L_0 = (K_0 \times a) + D_{SE} \quad (f.3.2.26)$$

Onde: K<sub>0</sub> é o coeficiente aplicado à cota a para o cálculo do comprimento do caminho do ar L<sub>0</sub> (geralmente, igual a 2 e, em qualquer dos casos, nunca menos do que 1), a é a cota “a” e

$D_{SE}$  é o tamanho máximo da fonte de emissão (negligenciável em todos os casos em que a fonte de emissão poder ser considerada punctiforme.)

O número de trocas de ar ( $C_0$ ) é obtido com a seguinte fórmula:

$$C_0 = \frac{W_a}{L_0} \quad (f.3.2.27)$$

Onde:  $W_a$  é a velocidade de referência do ar no ambiente considerado.

A seguinte fórmula calcula o volume hipotético ( $V_z$ ) de atmosfera explosiva:

$$V_z = (f_{SE} \times V_k) = \frac{f_{SE} \times Q_{amin}}{C_0} \quad (f.3.2.28)$$

Onde: O  $f_{SE}$  é o fator de eficácia da ventilação em torno da fonte de emissão ( $f_{SE} = 1$  para situação sem obstrução e  $f_{SE} = 5$  para situação de obstrução),  $V_k$  é volume hipotético de atmosfera potencialmente explosiva

Em seguida, compara-se o volume  $V_z$  com o volume  $V_{0L}$  (volume desde a fonte de emissão até à entrada da admissão da aspiração do ar), comparando-se estes dois casos, podem ocorrer:

- a) O volume  $V_z$  é maior do que o volume de  $V_{0L}$  (deve-se aumentar o caudal de  $Q_a$ , até que se cumpra a condição b);
- b) O volume  $V_z$  é inferior ou igual ao volume do  $V_{0L}$  (quando  $V_z$  não é desprezível, a área considerada perigosa deve correspondente ao  $V_{0L}$  de volume, tanto na forma, como nas dimensões).

Para ambientes abertos, assume-se que o valor de  $C_0$  ( $100h^{-1}$ ) é de  $0,03 s^{-1}$  referente a uma velocidade do vento de  $0,5 m/s$ , assim o  $V_z$  toma as seguintes equação:

$$V_z = \frac{f_{SE} \times Q_{amin}}{0,03} \quad (f.3.2.29)$$

Uma vez que já sabemos o valor de  $C_0$  então podemos usar a seguinte relação da fórmula de cálculo de  $C_0$ :

$$L_0 = \frac{W_a}{C_0} = \frac{0,5}{0,03} \cong 15m \quad (f.3.2.30)$$

O tempo de persistência da atmosfera explosiva após o cessar da libertação ( $t$ ) é calculado segundo a fórmula:

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \times \ln \left( \frac{K \times LIE_{\%vol}}{X_0} \right) \quad (f.3.2.31)$$

Onde: O  $f_{SE}$  é o fator de eficácia da ventilação,  $X_0$  é a concentração inicial de substância inflamável no interior do volume hipotético de atmosfera potencialmente explosiva  $V_z$ ,  
Para se saber a relevância de  $V_z$  encontra-se o valor do volume da mistura explosiva ( $V_{ex}$ ) com a seguinte fórmula:

$$V_{ex} = V_z \times k \quad (f.3.2.32)$$

Para que  $V_z$  seja desprezível, é necessário que o valor encontrado de  $V_{ex}$  seja menor que o valor de  $K * 100$

A tabela seguinte mostra a relação entre as zonas e o  $V_{ex}$ :

	$V_{ex}$
Zona 0	< 1 dm <sup>3</sup>
Zona 1	< 10 dm <sup>3</sup>
Zona 2	< (100 * K) dm <sup>3</sup>

**TABELA 42 – VOLUME ESTENDIDO** (FONTE: CEI 31-35)

#### 3.2.4.6 DENSIDADE DO GÁS OU VAPOR

A densidade do vapor é uma medida do peso relativo do vapor em comparação com o peso do ar (a publicação das características das substâncias, normalmente já incluem a densidade de vapor). O valor da unidade foi atribuído ao peso do ar. Isto significa que qualquer vapor com uma densidade maior do que 1 é mais pesado do que o ar e qualquer vapor com uma densidade inferior a 1 é mais leve do que o ar. Os vapores de líquidos inflamáveis mais pesados que o ar podem ser dispersos com ligeiras correntes de ar, a grandes distâncias antes de se tornar diluído com ar o suficiente para colocá-lo abaixo do limite explosivo inferior (LIE), altura em que se tornou incapaz de ser inflamado. Por esta razão, ao se ponderar na extensão da área classificada, é preciso considerar as características ambientais e topográficas circundantes (a inclinação do terreno, as barreiras naturais ou artificiais que pode canalizar o líquido ou vapores).

A informação sobre densidade de vapor da substância vai nos permite fazer previsões razoáveis sobre o possível comportamento do vapor emissor.

## CAPÍTULO IV

### 4 ESTUDO DE CASO “REATOR DE POLIMERIZAÇÃO”

Para a realização da presente dissertação no âmbito do estudo de caso, foram estudadas as unidades: Polymerization U-20, Separation & Drying U-30, Hexane recovery U-70. Pertencentes à fábrica de PEAD da empresa Repsol Polímeros, Lda.

A Repsol Polímeros é um complexo petroquímico que iniciou a sua atividade em 1981 em Sines com uma superfície de 100 Ha e produz olefinas e poleolefinas. A petroquímica trabalha 24h por dia em regime três turnos com cerca de 430 trabalhadores constituídos por 87% por homens e 13% por mulheres, dos quais 280 trabalham na Produção, 35 na Engenharia e Manutenção, 55 nos Serviços técnicos, 35 na Segurança, Qualidade e Ambiente, 10 no Departamento Económico-financeiro, 15 nos Recursos Humanos e ainda mais 279 prestadores de serviços de manutenção.

O complexo produz os monómeros de etileno e propileno que são olefinas de baixo peso molecular no steam cracker. Esses produtos alimentam as fábricas de poliolefinas, isto é: o PEAD – Polietileno de alta densidade, que produz cerca de 150 Kt/ano e o PEBD - Polietileno de baixa densidade, que produz 145 Kt/ano. Inclui ainda neste complexo a Fábrica de Butadieno que produz a 50 Kt/ano de Butadieno (diolefinas) e ETBE (ethyl tert-butyl ether) - Éter etil-terc-butílico, Central de Energia (43 MW, 390 t/h Vapor), Utilidades, Laboratórios e um Terminal Portuário para as entradas e saídas da fábrica de olefinas.

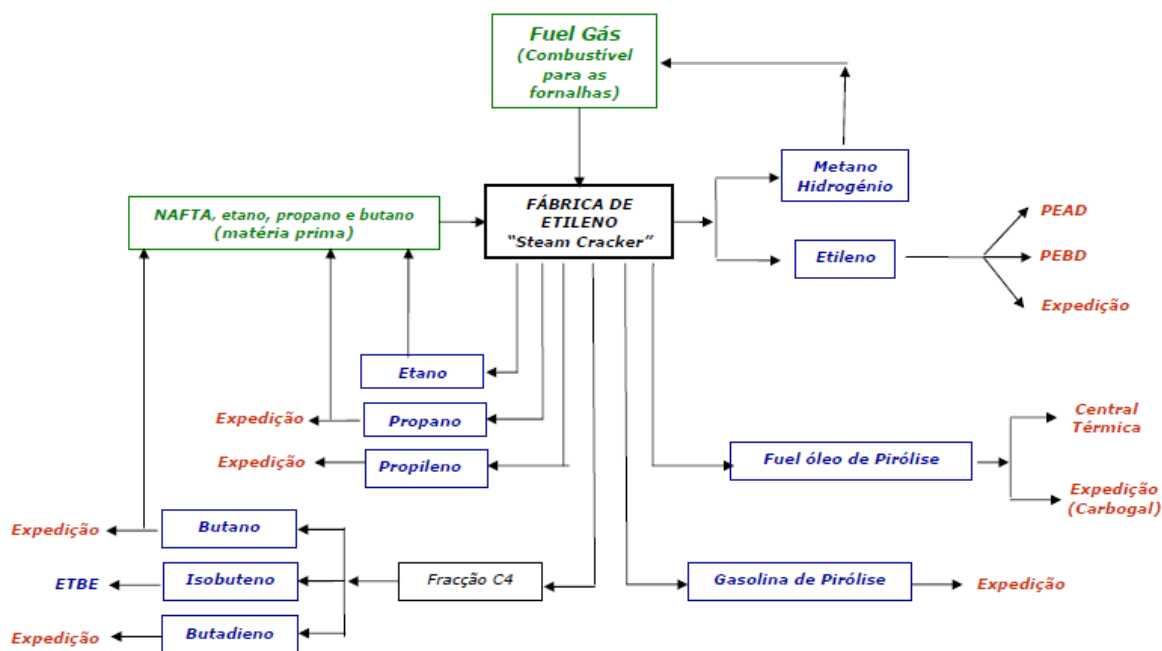


FIGURA 25 - Principais unidades e processos na Repsol (fonte: Repsol)

Este estudo de caso foi realizado com uma abordagem metodológica de investigação procurou compreender, explorar e descrever acontecimentos de contexto complexo, nos quais estão envolvidos diversos fatores de processos produtivos da fábrica de PEAD (sugestão da empresa e disponibilidade dos recursos técnicos) que conduzem a atmosferas explosivas. A sua realização consiste no estudo da classificação de área perigosa e da respetiva análise de riscos segundo a diretiva ATEX, na área envolvente ao reator de polimerização R-2001.

A fábrica de PEAD baseia-se no processo de “Slurry”, licenciada pela MPC (Mitsui Petrochemical Company) tendo dois reatores que podem ser operados em série ou paralelo. No processo de fabrico de polietileno, o polímero fica em suspensão no hexano num processo contínuo de alimentação das matérias-primas aos reatores. A reação de polimerização do etileno é catalisada pelos catalisadores do tipo Ziegler - Natta, de forma continua aos reatores. As partículas de catalisador são posteriormente retidas no interior das partículas de polímero.

Ao sair dos reatores, a pasta de polímero é centrifugada, onde se obtém a separação do pó de polímero e do hexano que é parcialmente reciclado e volta para os reatores, enquanto o restante é destilado e purificado e é usado como hexano puro nos reatores.

O pó de polímero que sai da centrífuga contém cerca de 20 a 30 % de hexano, procedendo à sua secagem, num secador rotativo, em contra corrente com um fluxo de azoto quente.

Depois de seco, o pó de polímero é transferido pneumáticamente para um de dois silos de pó com capacidade de 150 Ton cada. Este pó é enviado, juntamente com os aditivos necessários para as especificações dos produtos, a uma extrusora de dois fusos gémeos, que faz a fusão e a homogeneização do polímero com os aditivos. O polímero fundido sai através de uma fiação sendo granulado através de facas rotativas que trabalham numa câmara aquática. A água que passa nesta câmara transporta os grânulos para um secador centrífugo, onde lhe é retirada a humidade.

#### 4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os dados foram obtidos através de contactos com a empresa de forma a estabelecer parceria de colaboração, em ações que consisti-o na aquisição dos dados, numa constante prossecução de ações levadas a cabo no sentido de se obterem os dados mais relevantes para o estudo.

#### 4.1.1 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA PERIGOSA

Esta classificação neste estudo de caso tem por objetivo determinar as áreas com perigo de explosão devido à presença de gases ou vapores inflamáveis na fábrica de PEAD da unidade 20 no processo fabril do 1º reator de polimerização (R-2001).

A classificação das áreas com perigo de explosão, destina-se a definir zonas onde são necessárias a utilização de medidas especiais de segurança contra explosões, assim como medidas organizacionais para proteger a segurança e a saúde dos trabalhadores de acordo com o Decreto-Lei n.º 236 de 30 de Setembro de 2003, Decreto-Lei n.º 112 de 5 de Agosto de 1996 e Portaria n.º 341 de 21 de Maio de 1997.

A classificação das áreas baseia-se no pressuposto de que:

- A unidade 20 está em operação normal e entra em consideração com os eventos anormais razoavelmente previsíveis, incluindo os causados por manutenção de rotina;
- A unidade 20 não é afetada por áreas de risco de outras unidades circundantes;
- Todo o pessoal de operação e manutenção está informado dos riscos presentes e equipado com os meios adequados para as atividades em causa.

A presente classificação não considera:

- Fontes de emissão de substâncias inflamáveis que possam produzir atmosferas explosivas, com origem em falhas catastróficas ou acidentes graves em que não estejam incluídos no conceito de anormalidade considerada normal.
- Atividades de manutenção que possam alterar as características da fonte de emissão assim como a alteração da extensão da zona de perigo.

A classificação de lugares com perigo de explosão está em conformidade com a legislação Portuguesa e com as seguintes normas técnicas:

- EN 1127-1:2011 (ed. 3) atmosferas explosivas. Prevenção e proteção contra explosões (Conceitos básicos e metodologia);
- EN 60079-10-1:2009 (ed. 1) atmosferas explosivas. Classificação das áreas;
- CEI 31-35 (ed. 4) atmosferas explosivas. Guia da classificação das áreas com perigo de explosão pela presença de gases.

A documentação de referência e fornecida pela empresa petroquímica para a classificação de áreas são as seguintes:

- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> slurry cooler;

- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization 1<sup>st</sup> Polymerization Reactor;
- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization 1<sup>st</sup> Polymerizer Gas Recycle;
- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization 2<sup>nd</sup> Flash Drum;
- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization Butene and Propylene Feed;
- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization Flash Gas Compression;
- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization Hydrogen & Ethylene Dehydration;
- Unit 20 HDPE Plant – Polymerization Process Flow Diagram;
- Unit 20 HDPE Plant – R2001 – General Arrangement and Details.

Para a classificação das áreas com perigo de explosão procedeu-se da seguinte forma:

- Foram identificadas e listadas todas as substâncias presentes no processo de polimerização do 1º reator, assim como as suas características mais relevantes;
- Foram identificados as fontes de emissão e os respetivos graus de emissão e a possibilidade de se poder alterar o seu grau;
- Foi levado em conta as fontes representativas e as consideradas individuais;
- Para cada fonte de emissão foram calculados as respetivas taxas de emissão máxima  $Q_{gmax}$ , a distância perigosa  $d_z$  e a cota 'a', o tipo de zona perigosa e a extensão da mesma se for relevante a sua aplicação.

#### 4.1.2 SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS

As substâncias inflamáveis utilizadas na fábrica de PEAD no reator R-2001 são as seguintes: Buteno-1 é um gás incolor e sem odor, é mais pesado que o ar o que permite viajar ao longo da superfície, sendo possível uma ignição distante da fonte. É extremamente infamável e a sua mistura com o ar é explosiva.

Catalisador AT (que é um catalisador trietilalumínio) é uma solução que, particularmente no estado puro, pode inflamar-se espontaneamente (pirofórico) quando exposto ao ar, libertando quando em combustão vapores de água, dióxido de carbono e componentes de oxide de metal.

Etileno é um gás incolor com odor característico, mais leve que o ar e em resultado do caudal ou agitação do etileno pode criar cargas eletrostáticas, é extremamente inflamável e misturas com o ar são explosivas.



Hexano é um líquido incolor volátil com um odor característico, o vapor é mais pesado que o ar o que permite viajar ao longo da superfície sendo possível uma ignição distante da fonte. É altamente inflamável e os vapores com o ar são explosivos.

Hidrogénio é um gás incolor e sem odor, o gás é mais leve que o ar e forma facilmente misturas com o ar formando uma atmosfera explosiva. É extremamente inflamável.

Propileno é um gás incolor mais pesado que o ar o que permite uma ignição mais afastada da fonte e pode-se acumular em zonas baixas como caves, poços etc. Em resultado do caudal ou agitação do propileno, podem-se criar cargas eletrostáticas. É extremamente inflamável e as misturas com o ar são explosivas.

As suas características técnicas encontram-se no apêndice A

#### 4.1.3 FONTES DE EMISSÃO

Por definição, uma fonte de emissão é um ponto ou equipamento do processo a partir do qual se pode originar uma fuga para a atmosfera de um gás, vapor ou líquido inflamável que pode originar uma atmosfera explosiva.

Os graus individuais de emissões foram estabelecidos com base na norma 60079-10 e listados na tabela que se encontra no apêndice A.

#### 4.1.4 FONTES DE IGNIÇÃO

Segundo a norma europeia EN 1127-1:2007 as fontes de ignição devem ser comparadas com as propriedades de inflamação das substâncias.

Fonte de ignição	Relevância		Causa	Justificação	Probabilidade	Consequência
	Sim	Não				
Superfícies quentes	X		Linhas de vapor sem isolamento (245°C)	Auto ignição do Hexano (233°C)	Média / Alta	Muito alta
Chamas e gases quentes		X		Não previsível		
Faíscas geradas mecanicamente	X		Utilização de ferramentas	Ignição de atmosferas explosivas	Baixa	Alta
Aparelhos elétricos	X		Interruptores e comutadores	Ocorrência de faíscas elétricas	Médio	Alta

Correntes elétricas de fuga	X		Curto-circuito e falha de isolamento	Ocorrência de arcos elétricos, aquecimentos	Médio	Alta
Elettricidade estática	X		Caudal e agitação do Etileno e Propileno	Ocorrência de faíscas elétricas	Baixa	Alta
Descargas atmosféricas	X		Relâmpagos	Ocorrência de arcos elétricos, aquecimento	Baixa	Alta
RF ( $10^4$ a $3 \times 10^{12}$ Hz)		X		Não previsível		
Ondas eletromagnéticas ( $3 \times 10^{11}$ a $3 \times 10^{15}$ Hz)		X		Não previsível		
Radiação Ionizante		X		Não previsível		
Ultrassons		X		Não previsível		
Compressão adiabática e ondas de choque		X		Não previsível		
Reações exotérmicas, incluindo autoignição de poeiras	X		Catalisador PZ	Libertação acidental	Baixa	Alta

**TABELA 43 – FONTES DE IGNIÇÃO**

#### 4.1.5 DADOS DA FONTE DE EMISSÃO DO REATOR R-2001

Como exemplo vamos mostrar os cálculos da área da zona perigosa junto à fonte de emissão R-2001 que é constituída por várias flanges de ligação a linhas de transporte das matérias-primas, com juntas de fibra comprimida.

Característica do ar ao nível do equipamento:	
Tipo de ambiente	Aberto
Pressão atmosférica - $p_a$	101325 Pa
Temperatura ambiente - $T_a$	293.15 K
Ventilação	Natural
Disponibilidade da ventilação	Boa
Fator de eficácia da ventilação - $f_v$	1
Velocidade mínima do ar - $W_a$	0.5 m/s

**TABELA 44 – CARACTERÍSTICAS DO AR**

Característica da substância inflamável:			
Nome	Hexano	Etileno	Hidrogénio
Percentagem na mistura	63.73%	3.71%	0.97%
CAS	110-54-3	74-85-1	13333-74-0
Calores específicos ( $C_p/C_v$ ) – $\gamma$	1.06	1.24	1.41
Massa Molar	86.17 Kg/Kmol	28 Kg/Kmol	2 Kg/Kmol
LIE	1.18% V.	2.7% V.	4% V.
Temperatura de inflamação	-22 °C	Gás	Gás
Temperatura de ignição	225 °C	440 °C	560 °C
Grupo e Classe de temperatura	IIA T3	IIB T2	IIC T1
Constante Universal do gás – R	8314 J.Kmol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>		

**TABELA 45 – CARACTERÍSTICAS DA SUBSTÂNCIA INFLAMÁVEL**

Característica da fonte de emissão:	
FE (fonte de emissão)	Flange
Grau de emissão	Secundário
Pressão absoluta - p	588399 Pa
Temperatura interna - T	353.15 K
Secção do orifício de emissão - S	2.50E-06 m <sup>2</sup>
Coeficiente de difusão - C <sub>d</sub>	0.8
Coeficiente de segurança K	0.5
Concentração inicial da substância Inflamável X <sub>0</sub> .	100%
Rácio crítico do fluxo - $\phi$	1

**TABELA 46 – CARACTERÍSTICA DA FONTE DE EMISSÃO**

Como se trata de o reator (R-2001) com diversas substâncias inflamáveis vamos determinar a massa molar da mistura através da fórmula f.2.3.4 das substâncias inflamáveis de Hexano, Etileno e Hidrogénio, apesar de existir mais substâncias no seu sistema produtivo de polimerização, estes são os que tem maior expressão.

$$M_{mix} = \frac{(0.63 * 86.17 g/mol) + (0.037 * 28 g/mol) + (0.0097 * 2 g/mol)}{0.63 + 0.037 + 0.0097} = 81.82 g/mol$$

Vamos determinar o regime do fluxo de emissão com a fórmula f.3.2.7 da qual a condição sendo verdadeira vem em regime sónico e se for falsa vem em regime subsónico.

$$588399 Pa \geq 101325 Pa * \left( \frac{1.06 + 1}{2} \right)^{1.06/(1.06-1)}$$

O regime é sónico porque a igualdade é verdadeira.

Para determinar a taxa de emissão de gás máxima vamos utilizar a fórmula f.3.2.10 e o valor do orifício considerado foi obtido pela estimativa da dimensão devido a falhas que se encontra no Anexo B.

$$Q_{gmax} = 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot 588399 \cdot 0.8 \left( 1.06 \frac{81.82}{8314 \cdot 353.15} \right)^{0.5} \cdot \left( \frac{2}{1.06 + 1} \right)^{\frac{1.06+1}{2(1.06-1)}} = 0.0039 \text{ Kg/s}$$

O limite inferior de explosividade da mistura é obtido com a fórmula f.2.5.1

Substância	LIE	Concentração	Mix
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (hexano)	1.18% Vol	63.73%	63.73*100/(63.73+3.71+0.97)=93.15%
CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> (Etileno)	2.7% Vol	3.71%	3.71*100/(63.73+3.71+0.97)=5.42%
H <sub>2</sub> (Hidrogénio)	4% Vol	0.97%	0.97*100/(63.73+3.71+0.97)=1.41%

**TABELA 47 – DADOS DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS**

$$LIE_v = \frac{1}{\frac{93.15}{1.18} + \frac{5.42}{2.7} + \frac{1.41}{4}} = 1.22\% \text{ Vol.}$$

Pela fórmula f.2.5.3 obtém-se a conversão do LIE de % Vol. (% por unidade de volume) para Kg/m<sup>3</sup> (massa por unidade de volume).

$$LIE_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot 81.82 \text{ g/mol} \cdot 1.22_{v\%} = 0.0417 \text{ Kg/m}^3$$

Para se calcular a quantidade de ar fresco necessário para diluir a libertação de substância inflamável previsível em  $Q_{gmax}$  utilizamos a fórmula f.3.2.25, auxiliado pela fórmula f.2.3.7 para se obter o fator de segurança aplicado ao  $LIE_m$  que normalmente se aplica  $K=0,25$  para o grau da fonte de risco contínuo e primário ou  $K=0.5$  para o grau secundário.

$$K = 1.06 \cdot \left( \frac{2}{1.06 + 1} \right)^{\frac{1.06+1}{2(1.06-1)}} = 0.63$$

A quantidade de ar fresco necessária será então de:

$$Q_{amin} = \frac{0.0039 \text{ Kg/s}}{0.63 \times 0.0417 \text{ Kg/m}^3} \times \frac{353.15 \text{ K}}{293 \text{ K}} = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para se obter o volume hipotético de atmosfera potencialmente explosiva se determina aplicando a fórmula f.3.2.29 para ambientes abertos e considerando o fator de ineficácia da ventilação igual a  $f_v=1$ , isto é sem obstrução, e o número de trocas de ar por unidade de tempo em ambiente aberto de 0.033, que deriva do cubo hipotético de 15m de lado ( $C_0=0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/15\text{m} = 0.03$ ) e com um volume de  $V_0= 3400 \text{ m}^3$  assim sendo o valor de  $V_z$  é:

$$v_z = \frac{1 \cdot 0.18}{0,03} = 6.07 \text{ m}^3$$

A estimativa do grau de ventilação pode ser obtida utilizando o volume de  $V_z$  (segundo a norma EN IEC 60079-10), enquadrando-se com os valores da tabela seguinte:

Grau de ventilação	Volume de $V_z$
Alto	$V_z < 0.1\text{m}^3$
Médio	$0.1\text{m}^3 < V_z \leq V_0$
Baixo	$V_z > V_0$

TABELA 48 - ESTIMATIVA DO GRAU DE VENTILAÇÃO

Sendo o valor de  $V_z$  inferior ao de  $V_0$  mas superior a  $0.1\text{m}^3$  obtém-se o grau médio de ventilação.

O tempo de persistência da atmosfera explosiva após o terminar da libertação é calculado com a fórmula f.3.2.31 admitindo-se que a concentração inicial seja  $X_0$  de 100%.

$$t = \frac{-1}{0,03s} \ln \frac{1.22\%Vol \cdot 0.63}{100\%} = 162.15 s$$

Para se verificar a relevância de  $V_z$ , determina-se o volume da mistura explosiva efetiva  $V_{ex}$  aplicando-se a fórmula f.3.2.32 e comparando-se com a tabela 42 – Volume estendido.

$$V_{ex} = 6.07 \text{ m}^3 \times 0.63 = 3.82 \text{ m}^3$$

O  $V_z$  é relevante, porque o valor encontrado de  $V_{ex} = 3821 \text{ dm}^3$  para a Zona 2 é maior que o valor de  $K \cdot 100 \text{ dm}^3$

Para se calcular a distância perigosa  $d_z$ , aplica-se a fórmula f.3.1.12 auxiliado pela fórmula f.3.2.15.

Calcula-se o expoente:

$$\beta = \frac{1.06 + 1}{1.06 - 1} = 34.33$$

A distância perigosa calculada a partir da fonte emissão até ao extremo de  $d_z$ , em que a concentração (no extremos) do gás inflamável ou vapor no ar é menor do que o valor  $K_{dz} \cdot LIE$ , o valor de  $K_z$  em ambiente aberto é de 1 e o coeficiente de segurança aplicado ao LIE é assumida de 0.6 para o grau secundário.

$$d_z = 1 \cdot 50 \frac{81.82^{-0.65}}{0.6 \cdot 1.22} \left( \frac{0.00396}{1 \cdot 0.8} \right)^{0.5} \cdot \left( 1.06 \left( \frac{2}{1.06 + 1} \right)^{34.33} \right)^{-0.25} \cdot 353.15^{0.25} = 1.51 \text{ m}$$

A cota ‘a’ representa a real extensão da zona de perigo na direção da emissão e dispersão mais provável de uma atmosfera explosiva esta não deve de ser inferior ao valor de  $d_z$ , e normalmente é arredondado para cima para um valor inteiro.

$$\text{Cota “a”} = 2 \text{ m}$$

A fonte de emissão (flanges do R-2001) em funcionamento normal não é espetável que liberte substâncias inflamáveis para a atmosfera, sendo o grau definido como secundário segundo a EN 60079-10.

O valor do volume hipotético de atmosfera potencialmente explosiva é  $V_z = 6.07 \text{ m}^3$  não é superior ao volume do cubo de referencia  $V_0 = 3400 \text{ m}^3$  mas no entanto é superior a  $0.1 \text{ m}^3$  que segundo a EN 60079-10 se enquadra no grau de ventilação “Médio” em relação à fonte. O tempo de persistência da atmosfera explosiva até à sua dissipação é considerado razoável sendo  $t = 162\text{s}$  (2m 45s).

A disponibilidade da ventilação em ambiente aberto é considerada boa, e tendo em conta os anteriores parâmetros, a consulta da tabela 39 – Influência da ventilação no tipo de zona – leva à obtenção da classificação como Zona 2.

O valor do volume efetivo da atmosfera explosiva  $V_{ex} = 3.82 \text{ m}^3$  também é superior ao valor de  $K \cdot 100 = 0.063 \text{ m}^3$  definido para a Zona 2 o que torna a extensão relevante.

A tabela seguinte mostra as principais características das áreas de risco determinadas pelas emissões de segundo grau (emissões estimáveis durante falhas) dos componentes relacionados com o reator da primeira polimerização (R-2001) segundo o desenho de implementação dos equipamentos n.º 2014-1 (Apêndice B), os parâmetros mais relevantes levados em consideração para a classificação das zonas de risco, encontra-se na folha de dados para a classificação de áreas, parte I (Apêndice A) e na folha de dados para classificação de áreas, parte II (Apêndice A), todas as delimitações das zonas estão no apêndice B.

N.º	P (Pa)	$Q_{gmax}$ (Kg/s)	$D_z$ (m)	Cota “a” (m)	$V_z$ ( $\text{m}^3$ )	$V_{ex}$ ( $\text{m}^3$ )	Tipo de zona	T (s)
SN1	588399	0.00396	1.51	2	6.07	3.82	2	162.15
SN2	637432	0.00881	2.25	3	16.75	8.37	2	171.09
SN3	637432	0.00441	1.59	2	8.37	4.19	2	171.09
SN4	588399	0.00407	1.53	2	7.73	3.86	2	171.09
SN5	588399	0.00390	1.43	2	6.91	3.46	2	165.98
SN6	588399	0.00370	1.45	2	7.44	3.72	2	166.68
SN7	833565	0.01230	2.57	3	20.42	10.21	2	170.93
SN8	608012	0.00360	1.38	2	6.90	3.45	2	161.06
SN9	1176798	0.00564	1.81	2	15.00	7.50	2	148.85
SN10	1176798	0.00720	1.95	2	15.50	7.75	2	160.94
SN11	1176798	0.00174	3.09	4	34.83	17.41	2	130.40
SN12	1470997	0.01116	2.42	3	17.60	8.80	2	171.09

**TABELA 49 – RESUMO DAS ÁREAS DE RISCO**

#### 4.1.6 DADOS DA ANÁLISE DE RISCOS

##### 4.1.6.1 AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS (ARIA)

Em relação às atmosferas explosivas esta metodologia leva em conta os princípios orientadores da Diretiva 1999/CE e de acordo com a EN60079-10-1. Vamos explorar os riscos do reator R-2001 em detalhe e todas as outras fontes encontram-se registadas nas tabelas 50 e 51.

De acordo com a tabela 10 – Probabilidades de atmosfera explosiva índice “P” e sendo a área classificada como zona 2 (ver Apêndice A) encontrou-se o valor correspondente de 1 para o índice P.

Em termos estatísticos as fontes de ignição estão qualitativamente para o índice “C” como uma presença de “Raramente” valoração de C = 1, é de realçar que nos últimos 3 anos não se verificou nenhuma ativação na unidade 20 do PEAD.

A frequência estimada da presença de uma atmosfera explosiva no local é dada pelo índice de correlação “D” que é atribuído à zona 2 o valor de D = 1 a este índice é adicionado os índices da tabela 12 – Efeitos da destruição índice D’, segundo a fórmula f.3.2.2

Segundo a fórmula f.3.2.3 obtemos o valor de  $W_p$ :

$$P_{pe} = \left( \frac{315}{315 + 75 + 314} * 0.91 \right) + \left( \frac{75}{315 + 75 + 314} * 0.33 \right) + \left( \frac{314}{315 + 75 + 314} * 0.11 \right) = 0.49$$

$$W_p = \left( \frac{288}{270000} \right) 0.49 = 0.052$$

Onde: D = 1 (Zona 2);  $W_p$  = ocasional (0.052); KG = 0 (100bar-m/s);  $V_z = 0.5$  (6070 dm<sup>3</sup>);  $C_c = 0$  (Não confinado).

$$D' = 1 + 0,25 + 0 + 0.5 + 0 = 1.75$$

Os próximos parâmetros são obtidos depois de se terem tomadas as devidas medidas de proteção e são obtidas a sua valoração consultando a tabela 15 – Parâmetros de pós medidas de proteção. Aplicando a fórmula f.3.2.5:

$$R = (1 * 1 * 1.75) + 1 + 0 + 2 + 0 = 4.75$$

Sendo o valor do risco inferior a 9 e superior a 1, segundo a tabela 16 – Classificação do nível do risco. O risco é considerado baixo e a probabilidade da presença de uma atmosfera explosiva é extremamente limitada, bem como a presença de fontes de ignição efetivas. O nível de exposição é baixa, assim como os danos são limitados para as pessoas e bens.

A probabilidade de propagação da explosão deve ser considerada extremamente limitada

Linha de produto															
Fonte de libertação	Zona	D	D'	V <sub>Z</sub> Volume da nuvem (dm <sup>3</sup> )		C <sub>C</sub> Confinamento da nuvem		W <sub>p</sub> Presença de trabalhadores		K <sub>G</sub> Índice de explosividade do gás		K <sub>ST</sub> Índice de explosividade das poeiras		L <sub>d</sub> Profundidade da camada de	
SN1	2	1	1.75	6070	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN2	2	1	1.75	16750	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN3	2	1	1.75	8370	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN4	2	1	1.75	7730	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN5	2	1	1.75	6910	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN6	2	1	1.75	7440	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN7	2	1	1.75	20420	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN8	2	1	1.75	6900	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN9	2	1	1.75	15000	0.5	NC	0	OC	0.25	242	0				
SN10	2	1	1.75	15500	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
SN11	2	1	1.75	34830	0.5	NC	0	OC	0.25	550	0.25				
SN12	2	1	1.75	17600	0.5	NC	0	OC	0.25	100	0				
NC – Não confinado; PC – Parcialmente Confinado; CC – Completamente confinado. N – Nunca; OC – Ocasional; C – Continuo.															

**TABELA 50 – ANÁLISE DE RISCO PARCIAL**

Linha de produto															
Equipamento	Zona	P	C	D'	V <sub>Z</sub>	C <sub>C</sub>	W <sub>p</sub>		K <sub>G</sub>		K <sub>ST</sub>		L <sub>d</sub>		Risco
R-2001	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
P-2071	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
E-2091	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
D-2005	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
D-2004	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
E-2004	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
P-2002	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
C-2001	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
FRC-2021	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	242	0					4.75
FRC-2022	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
FRC-2023	2	1	1	2	2	0	OC	1	550	1					6
FIC2024/5	2	1	1	1.75	2	0	OC	1	100	0					4.75
NC – Não confinado; PC – Parcialmente Confinado; CC – Completamente confinado. N – Nunca; OC – Ocasional; C – Continuo.															

**TABELA 51 – ANÁLISE DE RISCO ARIA**



#### 4.1.6.2 AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS (ASL)

Na sequência da análise anterior esta metodologia foi desenvolvida pela autoridade Local de Saúde de Milão (ASL Milão).

Esta análise teve em conta parâmetros como a probabilidade da existência de perigos, danos para os trabalhadores e a sua severidade.

Os dados tidos em conta foram obtidos por cálculo ou por consulta de tabelas normativas:

	K <sub>G</sub> (bar-m/s)	S <sub>u</sub> (cm/s)
Buteno	110	51
Etileno	242	108
Hexano	100	46
Hidrogénio	550	312
Propileno	178	82

TABELA 52 – DADOS DE EXPLOSIVIDADE

Equipamento	dz (m)	Cota a (m)	V <sub>ex</sub> (m <sup>3</sup> )
R-2001	1.5	2	3.82
P-2071	2.25	3	8.37
E-2091	1.59	2	4.19
D-2005	1.53	2	3.86
D-2004	1.43	2	3.46
E-2004	1.45	2	3.72
P-2002	2.57	3	10.21
C-2001	1.38	2	3.45
FRC-2021	1.81	2	7.50
FRC-2022	1.95	2	15.50
FRC-2023	3.09	4	17.41
FIC2024/5	2.42	3	8.80

TABELA 53 – DADOS DO VOLUME VEX

Com base nestes valores, procedemos ao desenvolvimento da envolvente à área em causa, considerando a contribuição de cada elemento em particular. As tabelas seguintes mostram os valores que resultaram dos cálculos e qualitativamente avaliados através das tabelas matrizes referenciadas na metodologia ASL Milão.

Fonte emissor	Grau do Fator	Grau do Fator	Grau do Fator	Grau do Fator	Grau do Fator	Grau do Fator	Grau do Fator	Matriz
	P <sub>EX</sub>	P <sub>FI</sub>	P	C <sub>PE</sub>	C <sub>EX</sub>	C	D	
R-2001	2	2	2	2	3	2	4	16
P-2071	2	2	2	2	3	2	4	16
E-2091	2	2	2	2	3	2	4	16
D-2005	2	2	2	2	3	2	4	16
D-2004	2	2	2	2	3	2	4	16
E-2004	2	2	2	2	3	2	4	16
P-2002	2	2	2	2	3	2	4	16
C-2001	2	2	2	2	3	2	4	16
FRC-2021	2	2	2	2	3	2	4	16
FRC-2022	2	2	2	2	4	3	4	24
FRC-2023	2	2	2	2	3	2	4	16
FIC2024/5	2	2	2	2	3	2	4	16

**TABELA 54- ANÁLISE DE RISCO ASL**

Podendo-se concluir que o risco é baixo e aceitável, e melhorias no programa de intervenção no controlo dos riscos, a médio e longo prazo.

De uma forma geral os valores obtidos da análise dos três métodos (ARIA, ASL e Repsol) são muito idênticos, não havendo disparidades entre eles.

Os dois primeiros métodos são mais específicos e tem parâmetros como: o  $K_G$  (índice de explosão de gases),  $C_c$  (confinamento da nuvem),  $W_p$  (presença de pessoas),  $V_z$  (volume hipotético da nuvem de atmosfera potencialmente explosiva),  $V_{EX}$  (volume da mistura explosiva), classificação de zona etc. o que os torna mais adequados, no entanto exige que os técnicos que o executem tenham mais conhecimentos ao nível das tecnologias e nomenclaturas ATEX.

## 5 LIMITAÇÕES

Esta dissertação apresentou algumas limitações, que não podemos deixar de mencionar. Assim, durante a pesquisa enfrentou-se uma série de problemas e desafios inerentes ao próprio tipo de investigação, pelo que se teve de manter uma capacidade para encontrar soluções para o desenvolvimento e avanço da análise.

Neste tipo de estudo, podemos por isso apontar algumas limitações que condicionaram a sua realização. A primeira prende-se com a abordagem individual de um trabalho estritamente académico, onde não existe a possibilidade de recorrer a uma equipa multidisciplinar para a

recolha e tratamento de dados. Assim, foram assumidos os riscos associados ao fazer-se incursões em áreas disciplinares diferentes da formação de base, o que poderá resultar em aspetos casualmente pouco explorados.

## 6 PROPOSTA DE MELHORIA COM BASE NOS DADOS OBTIDOS

Como sugestão de futuro estudo recomenda-se a averiguação, da extensão da área classificada por forma a não comprometer a segurança das instalações industriais.

São sugeridas também melhorias da ferramenta desenvolvida a partir da implementação dos itens a seguir:

- a) Criação de uma aplicação informática para análise da dispersão dos gases a partir das equações dispostas na EN 60079-10-1:2009 ed.1;
- b) Estudo tridimensional, para que a análise das zonas de risco possa melhor descrever as áreas definidas em forma 3D, e não somente por desenhos bidimensionais.

## 7 UTILIDADE CIENTÍFICA

Sobre a aplicabilidade do conhecimento gerado por esta pesquisa, dever-se-á ter a consciência de que os dados recolhidos, não servem de base para uma generalização categórica da mesma sobre outros complexos petroquímicos. O que se pretende saber prende-se com a realidade observada no esquema de análise por nós selecionado, produzindo algumas reflexões sobre a amostra no que diz respeito às perceções e metodologias, no contexto definido, podendo ainda ser retiradas algumas recomendações para estratégias de prevenção (mais concretamente ao nível de planos de sensibilização e formação em SHT sobre atmosferas explosivas).

## CONCLUSÃO

No início do trabalho um dos objetivos principais proposto foi analisar a adequação da metodologia para a avaliação de riscos relacionada com atmosferas explosivas.

- Determinar a abrangência das identificações de perigos;
- Determinar a adequação da classificação das áreas perigosas e a seleção de equipamentos utilizados nas respetivas zonas.

O procedimento para a avaliação de atmosferas explosivas, segundo as Normalizações Europeias e tendo em conta as referências citadas na revisão da literatura, envolveu o

trabalhar em folhas Excel para os cálculos das zonas de riscos e os registos elaborados segundo o modelo da Norma EN 60079-20-1:2010 (Apêndice A), comparativamente ao praticado na empresa, os valores são muito idênticos aos encontrados no nosso estudo, no entanto em termos de abrangência os da empresa são mais escassos, não contemplando todas as fontes de emissão.

A forma como as matrizes de avaliação e controlo de riscos são representadas na sua forma generalista pelo que se recomenda que sejam revistas de forma a adequar aos normativos Europeus. É sugerida a aplicação de matrizes mais específicas, em substituição das atuais matrizes. Assim, recomenda-se uma revisão à metodologia de avaliação atualmente utilizada pela empresa, tendo em conta as metodologias específicas desenvolvidas no âmbito este estudo para avaliar o risco de formação de atmosferas explosivas.

Na fábrica de PEAD foi possível proceder à classificação e zonamento das áreas perigosas e potencialmente explosivas junto ao reator 2001 (Apêndice B), estes desenhos são de fácil apreensão e muito intuitivos, comparativamente com as da empresa. Esta fez um estudo sobre simulação de dispersão de emissão gasosa em diversos equipamentos no plano horizontal, este estudo foi auxiliado com o programa informático PHAST, e apesar da relevância deste trabalho, pensamos que se enquadra mais nas estimativas de acidentes graves.

Durante o trabalho de campo, ocorreram alguns contratemplos, como a falta de informação nos equipamentos, o que obrigou a uma pesquisa nos “data sheet” sobre as características técnicas dos equipamentos de instrumentação e elétricos, mas de uma forma geral os equipamentos instalados são adequados ao tipo de zona e observou-se evidências de manutenção periódica.

Por fim, a pergunta de partida viu-se respondida pelas evidências dos relatórios de segurança assim como estudos existentes dos locais com potencial para a criação de atmosferas explosivas. No complexo petroquímico de Sines uma só empresa foi estudada mas, de maneira a retirar-se ilações mais fidedignas seria necessário aplicar a um espectro maior de empresas e, de preferência, aplicado por outros intervenientes com conhecimento na matéria de maneira a entendermos se existiria diferenças muito grandes entre as avaliações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anuário Estatístico de Portugal 2011, Instituto Nacional de Estatística, IP, Lisboa

Assael Marc J. & Kakosimos, Konstantinos E. (2010). Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersions. New York: CRC Press

Beyersdorfer, P. (1925) Straub-Explosionen. Dresden und Leipzig: Verlag von Theodor Steinkopff

Brown, Lawrence S. & Holmes, Thomas A. (2011) Chemistry for Engineering Students. Belmont: Brooks/Cole

Cabral, F. (2010). *Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho*. Lisboa: Verlag Dashöver.

CEI 31-35 (2012). Atmosfere esplosive- Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di gas in applicazione della Norma CEI EN 60079-10-1, Milano: Ceiweb

CEI 31-56;V1 (2012). Atmosfere esplosive - Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di polveri combustibili in applicazione della Norma CEI EN 60079-10-2, Milano: Ceiweb

Daniel A. Crowl & Joseph F. Lowar (2002). Chemical Process Safety. Houston: Prentice Hall

Davletshina, Tatyana A. & Cheremisinoff, Nicholas P. (1998). Hazards Handbook of Industrial Chemicals. New Jersey: Noyes Publications.

Decreto-Lei n.º 236/2003 de 30 de Setembro. Diário da República n.º 226 - I Série A

Decreto-Lei n.º 112/96 de 5 de Agosto. Diário da República n.º 180 - I Série A

Directiva 1989/391/CEE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Junho de 1989

Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council of 23 March 1994

Directiva 1999/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 1999

Directiva 2007/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Junho de 2007

Diretiva 2012/18/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012

- Eckhoff, Rolf K. (2003) Explosions in the Process Industries. Burlington: Elsevier Science
- EN 1127-1 (2011) Explosive atmospheres. Explosion prevention and protection -. Part 1: Basic concepts and methodology (Ed. 3). ). Instituto Português da Qualidade
- EN 31010 (2010). Gestão de riscos - Técnicas de avaliação de riscos (Ed. 1). Instituto Português da Qualidade
- EN 60079-10-1(2009). Atmosferas explosivas. Parte 10-1:Classificação das áreas - Atmosferas explosivas gasosas (Ed. 1). Instituto Português da Qualidade
- EN 60079-10-2 (2009) Atmosferas explosivas. Parte 10-2:Classificação das áreas - Atmosferas com poeira combustível (Ed. 1). Instituto Português da Qualidade
- Groh, Heinrich (2003) Explosion Protection. Burlington: Butterworth-Heinemann
- Lees, F. P. (1980). Loss Prevention in the Process Industries, 2 Vols., Boston e London: Butterworths
- Lei n.º 7/2009 de 12 de Fevereiro. Diário da República nº 30 - I Série
- Lei n.º 102/2009 de 10 de Setembro. Diário da República nº 176 - I Série
- Lewis, B. & Von Elbe, G. (1987). Combustion, Flames and Explosions of Gases, 3<sup>rd</sup> ed., New York: Academic Press,
- Lluna, G (1999), *Sistema de gestion de riesgos laborales e industriales (2ª ED.)*, Mapfre.
- Lupton, Deborah (1999); *Risk*; Routledge, New York
- McMillan, Alan (1998). Electrical installations in Hazardous Areas. Boston: Butterworth-Heinemann
- NFPA 70. (2011) National Electrical Code Handbook. Ed. 12, Quincy: National Fire Protection Association
- NP ISO 31000 (2013). Gestão do risco. Princípios e linhas de orientação.(Ed.2). Instituto Português da Qualidade
- OIT (2002); *Sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho*, IDICT, Lisboa
- Portaria n.º 341/97 de 21 de Maio. Diário da República nº 117 - I Série B
- R. Karl Zipf, Jr. (2012) Explosions and Refuge Chambers, NIOSH-125
- Sickler, Robert A. (1992). Na Essential Guide to Understanding Explosives and Detonations. Boulder, Colorado:Paladin Press.

## **APÊNDICE A**

Tabelas

Classificação de áreas

## Folha de dados para classificação de áreas

### Parte I: Lista e características dos materiais inflamáveis

Folha 1 de 2

Planta: PEBD										Desenho de referência:	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Material inflamável			LIE		Volatilidade					
N.º	Nome	Composição	Ponto de inflamação °C	Kg/m³	Vol. %	Pressão de vapor 20°C Kpa	Ponto de ebulição °C	Densidad e relativa do gás ou vapor no ar	Temperatura de ignição °C	Grupo e classe de temperatura	Qualquer outra informação relevante e observações
1	Buteno-1	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	gás	0.03734	1.6	464	-6	1.93	345	T2, IIA	R12, Gás
2	Etileno	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	gás	0.03145	2.7	8100	-104	0.97	440	T2, IIB	R12, Gás
3	Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-22	0.042299	1.18	17	69	2.97	225	T3, IIA	R11, Líquido
4	Hidrogénio	H <sub>2</sub>	gás	0.003328	4	1317	-253	0.07	560	T1, IIC	R12, Gás
5	Propileno	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>3</sub>	gás	0.042033	2.4	1158	-48	1.5	445	T1, IIA	R12, Gás
6	PZ-Catalisador	TiCl <sub>4</sub>	-22.5	-	-	1.3	136.4	6.5	7.7	-	R14, R34, sólido
7	AT-Catalisador	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> Al	-18	-	-	3.3	128-130	0.83	-	-	R14, R17, R34 (pirofórico)



**Folha de dados para classificação de áreas**  
**Parte II: Lista de fontes de risco**

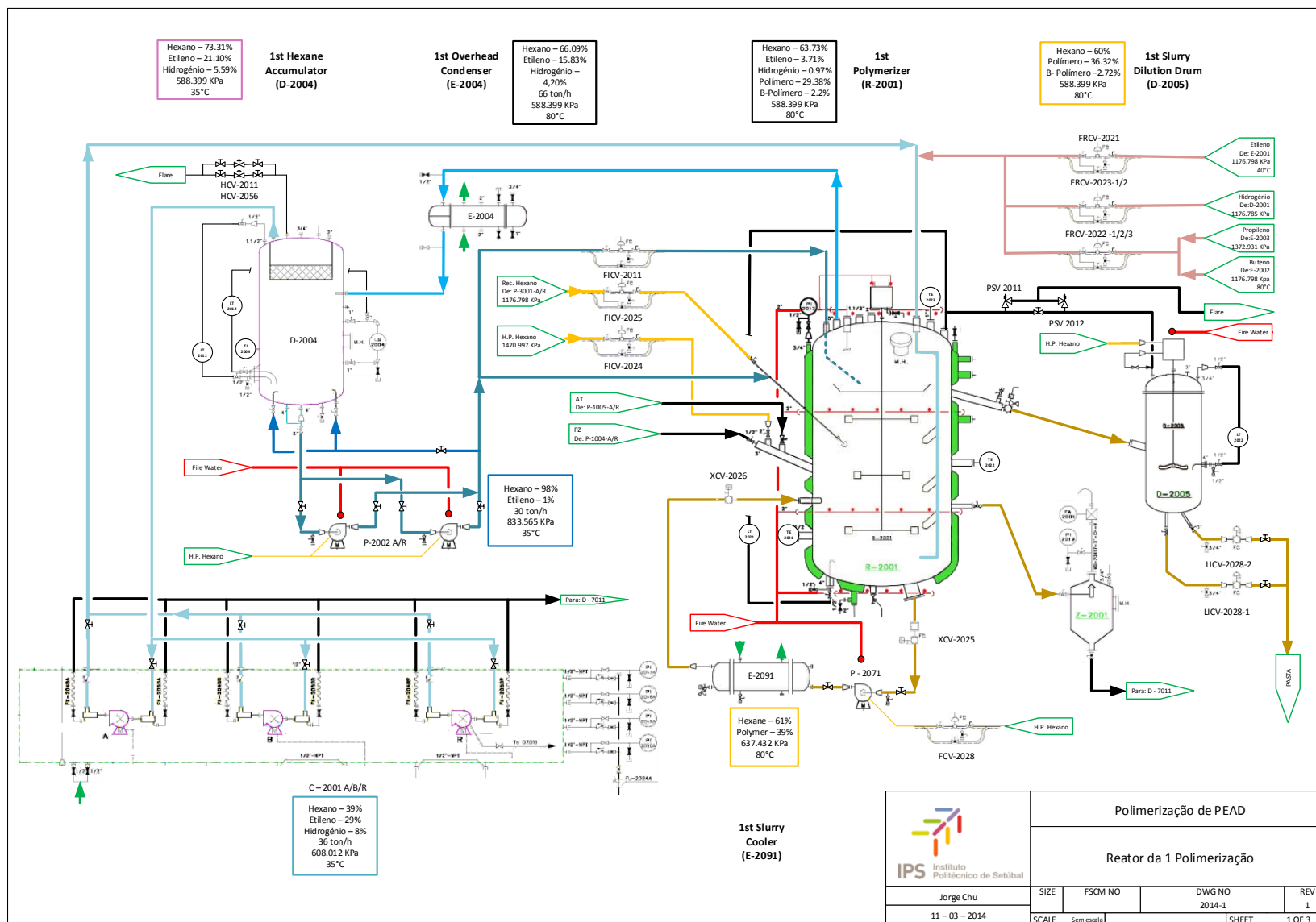
Folha 2 de 2

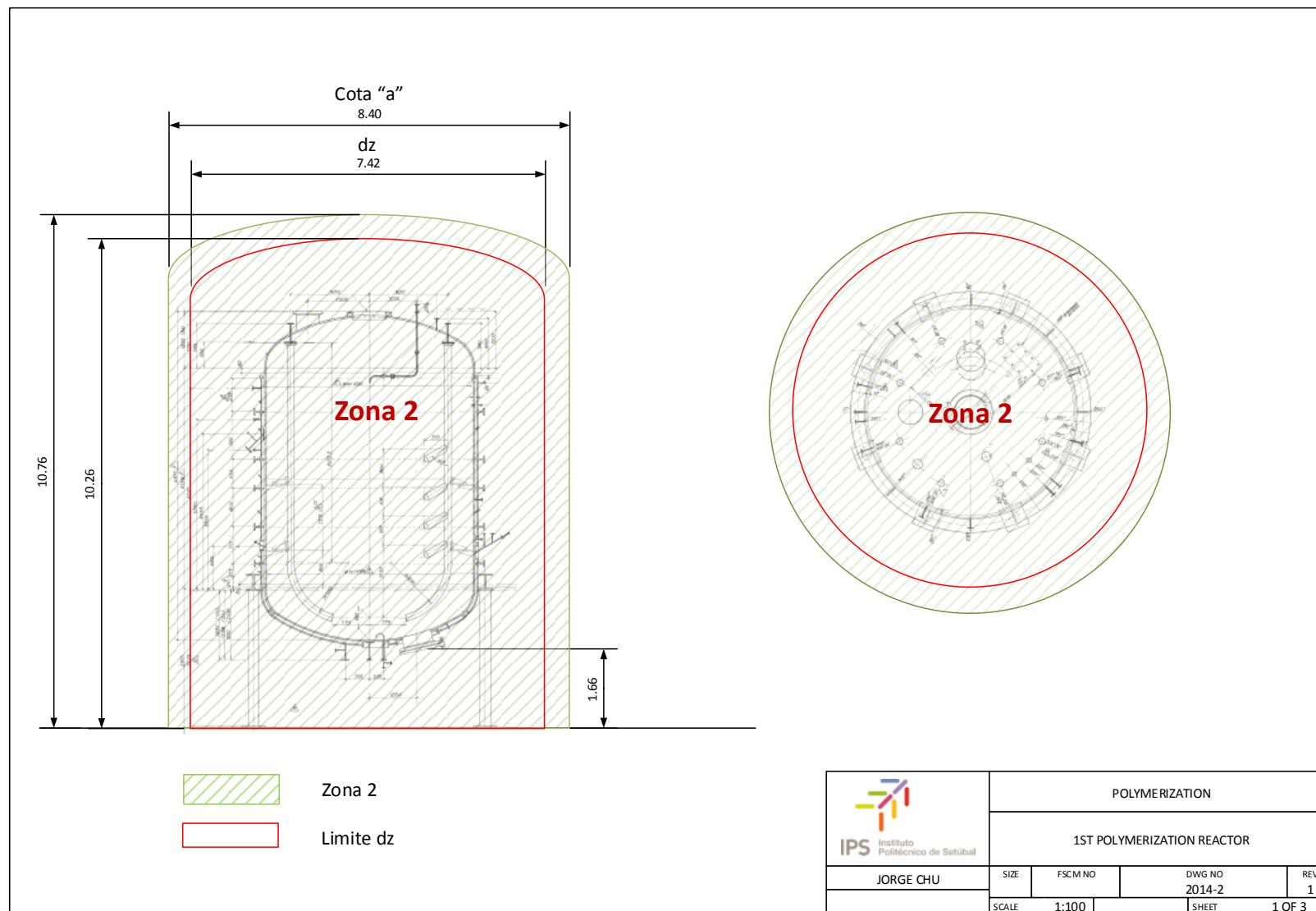
Planta:			Reator da 1 Polimerização								Desenho de referência:				2014-1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N.º	Fonte de risco		Grau da font e de risco	Material inflamável			Ventilação			Área classificada				Observações e outras informações relevantes	
	Descrição	Local		Referência *	Temperatura e pressão de operação		Estado	Tipo	Grau	Disponib.	Zona tipo 0-1-2	Extensão da zona m			Referên cia **
					°C	Kpa						Vertic al	Horiz ontal		
SN1	R-2001	Área 11	S	2, 3, 4	80	588.39	G	N	M	Boa	2	10.76	8.4	2014-2	A partir da cota 0
SN2	P-2071	Área 11	S	3	80	850	L	N	M	Boa	2	2	2	Ex. n.º 1	A partir da cota 0
SN3	E-2091	Área 11	S	3	80	850	L	N	M	Boa	2	11	4.8	Ex. n.º 5	A partir da cota 0
SN4	D-2005	Área 11	S	3	80	588.39	G	N	M	Boa	2	9	7	Ex. n.º 5	A partir da cota 0
SN5	D-2004	Área 12	S	2, 3, 4	35	588.39	G	N	M	Boa	2	2	6.4	Ex. n.º 5	A partir do topo
SN6	E-2004	Área 12	S	2, 3, 4	80	588.39	G	N	M	Boa	2	2	11.8	Ex. n.º 5	A partir do topo
SN7	P-2002	Área 12	S	2, 3	35	833.56	L	N	M	Boa	2	3	5	Ex. n.º 1	A partir da cota 0
SN8	C-2001	Área 12	S	2, 3, 4	35	608.01	G	N	M	Boa	2	2	12.8	Ex. n.º 5	A partir do topo
SN9	FRC-2021	Área 11	S	2	40	1176.79	G	N	M	Boa	2	2	2	Ex. n.º 4	A partir do topo
SN10	FRC-2022	Área 11	S	1, 5	80	1372.93	G	N	M	Boa	2	2	2	Ex. n.º 4	A partir do topo
SN11	FRC-2023	Área 11	S	4	20	1176.78	G	N	M	Boa	2	4	4	Ex. n.º 4	A partir do topo
SN12	FIC2024/5	Área 11	S	3	20	1470.99	L	N	M	Boa	2	3	3	Ex. n.º 4	A partir da cota 0
C - Contínuo; P - Primário; S - Secundário.								* - O número da lista da tabela I.							
A - Alto; M - Médio; B - Baixo								** - Os exemplos referem-se ao Anexo C da NP IEC 60079-10							
G - Gás; L - Líquido; GL - Gás Liquefeito; S - sólido															

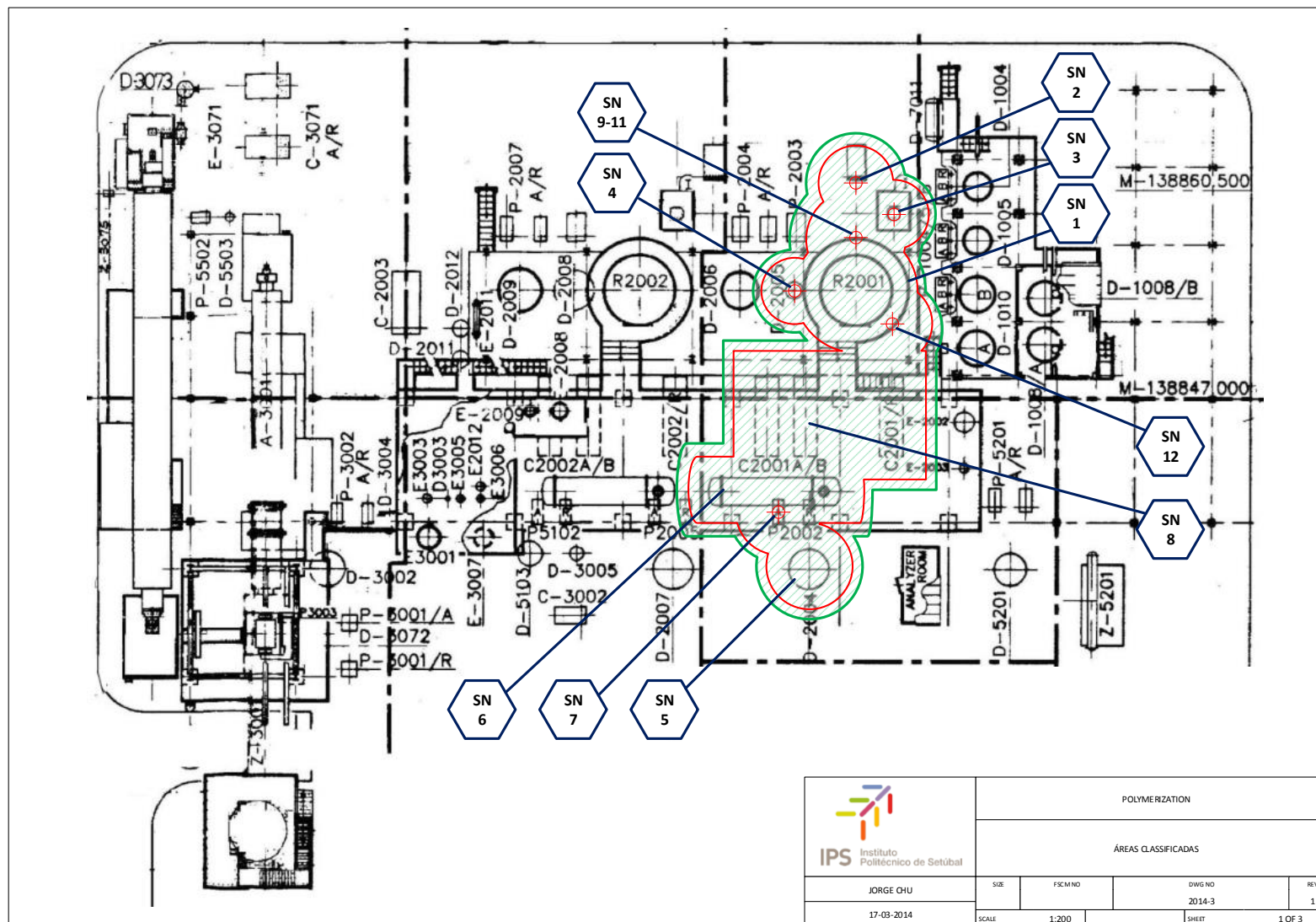
## **APÊNDICE B**

Desenhos

Classificação de áreas







## **APÊNDICE C**

### **Enquadramento Legal e Normativo**

## ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO

A legislação fornece aos trabalhadores padrões mínimos de segurança e saúde no local de trabalho (Lei n.º 102/2009). Quando necessário podem ser complementados com outras formas e mecanismos de proteção (NP, NE, IEC, ISO), através de uma legislação mais estruturada e específica o que a torna mais eficaz.

Embora a legislação de SST represente a estrutura legal para proteger os trabalhadores, esta só é eficaz quando é sustentada pela sua efetiva fiscalização por parte da Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT). Sem estas inspeções efetivas e adequadas, nem todos os empregadores se sentem obrigados a cumprir as Leis, normas e as suas regulamentações nesta área, no que respeita ao local de trabalho.

### 1. Legislação nacional

O antigo sistema jurídico Português era baseado no direito romano (a legislação foi compilada em três grandes códigos o Código Afonsino, o Código Manuelino e o Código Filipino), até ao aparecimento do primeiro Código Civil que foi aprovado em 1867. A Legislação Portuguesa foi influenciada pelo direito francês até finais do século XIX, a partir desta data o direito alemão tem sido a principal influência. As principais leis incluem a Constituição (1976), o Código Civil (1966) e o Código Penal (1982). Outras leis relevantes são o Código do Trabalho (Lei 7/2009) assim como Regime jurídico da promoção da Segurança e Saúde no trabalho (Lei 102/2009).

### LEI N.º 102/2009 DE 10 DE SETEMBRO – ENQUADRAMENTO SST

Esta Lei regulamenta o Regime Jurídico da Promoção da Segurança e Saúde no Trabalho, de acordo com o previsto no artigo 284.º do Código do Trabalho.

O capítulo I da secção II do regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, subordinado ao título “Princípios gerais e sistema de prevenção de riscos profissionais” no seu artigo 5º, em princípios gerais, no número um, define que a prevenção dos riscos profissionais deve assentar numa correta e permanente avaliação de riscos e ser desenvolvida segundo princípios, políticas, normas e programas. Já no artigo 15.º, em obrigações gerais do empregador no número dois, alínea b), prevê uma integração da avaliação dos riscos para a segurança e a saúde do trabalhador no conjunto das atividades da empresa.

O conceito de frequência é fornecido pelo artigo 42.º subordinado ao tema “Avaliação de riscos suscetíveis de efeitos prejudiciais no património genético” no número três, predispões a avaliação de riscos a ser feita trimestralmente, bem como quando haja alteração das condições de trabalho suscetível de afetar a exposição dos trabalhadores.

Não obstante a especial relevância desta matéria, o artigo 98.º em “Atividades principais do serviço de segurança e de saúde no trabalho” o nº 1 alínea a) prevê o planejar a prevenção, integrando a todos os níveis e, para o conjunto das atividades da empresa, a avaliação dos riscos e as respetivas medidas de prevenção.

**DECRETO-LEI N.º 112/96 DE 5 DE AGOSTO – APARELHOS E SISTEMAS DE PROTEÇÃO DESTINADOS A SER UTILIZADOS EM ATMOSFERAS POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS;**

O presente Decreto-Lei estabelece as regras de segurança e de saúde relativa aos aparelhos, sistemas de proteção, dispositivos de segurança, de controlo e de regulação destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, transpondo para o direito interno a Diretiva n.º 94/9/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Março.

A presunção legal constante no artigo 4º com o título “Regulamentação” remete para a portaria n.º 341/97 de 21 de Maio a avaliação de conformidade dos aparelhos, sistemas de proteção e dos dispositivos, para satisfazer as exigências essenciais de segurança e de saúde, assim como a sua classificação dos grupos de aparelhos em categorias e marcação de conformidade “CE”.

A entidade fiscalizadora IPQ – Instituto Português da Qualidade, nos termos do art.10.º n.º1, do Decreto-Lei n.º 112/96, têm a incumbência de fiscalizar os aparelhos (mesmo que estejam munidos da marcação “CE”) verificando se comprometem a segurança das pessoas ou bens, proibindo mediante despacho a sua comercialização (art. 8.º n.º2, do Decreto-Lei n.º 112/96).

**PORTARIA N.º 341/97 DE 21 DE MAIO – OS PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE DOS APARELHOS**

Este diploma estabelece as regras relativas à segurança e saúde dos aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 94/9/CE, de 23 de Março.



Os procedimentos de avaliação de conformidade dos aparelhos segundo o artigo 2.º numero um da presente portaria, são os seguintes como descritos na seguinte tabela:

Equipamentos	Grupo	Categoria	Anexo	Descrição
Todos	I + II	M1 + 1	III	Exame CE de tipo
			IV	Garantia de qualidade de produção
			V	Verificação do produto
Motores combustão interna Aparelhos elétricos	I + II	M2 + 2	III	Exame CE de tipo
			VI	Conformidade com o tipo
			VII	Garantia de qualidade do produto
Os restantes aparelhos da alínea anterior	I + II	M2 + 2	VIII	Controlo interno de fabrico
Todos	II	3	VIII	Controlo interno de fabrico
Todos	I + II	Todos	IX	Verificação por unidade

Os anexos de I a XI à presente portaria, fazem parte integrante do Decreto-Lei nº 112/96, de 5 de Agosto, como se descreve no seguinte resumo:

Anexo I - Critérios que determinam a classificação dos grupos de aparelhos em categorias: Estão incluídas no grupo de aparelhos I, as categorias M1 e M2 de aparelhos que se destinam a trabalhos subterrâneos em minas e nas partes das instalações de superfície colocadas em perigo por grisu e ou por poeiras combustíveis.

Estão incluídas no grupo de aparelhos II, as categorias 1, 2 e 3 de aparelhos que se destinam a ambientes com atmosferas explosivas devidas a misturas de ar com gases, vapores, névoas ou poeiras em suspensão.

Na seguinte tabela estão representados as principais características dos grupos e categorias:

Grupo	Categoria	Atmosfera Ex	Nível de proteção	Conformidade de proteção	Controlo ignição
I	M1	Certa	Elevado	Os aparelhos manter-se-ão operacionais, mesmo em caso de avaria rara, em presença de atmosferas explosivas. No caso de avaria de um dos meios de proteção, haja pelo menos um segundo meio independente que assegure o nível de proteção exigido. Além disso, o nível de proteção é garantida, mesmo no caso de dois defeitos de forma independente se manifestarem.	Emissividade térmica; Estanquicidade; Interlock; Segurança Intrínseca.
	M2	Ocasional	Elevado	Dispositivo para o corte de energia em caso de surgir uma atmosfera explosiva. É garantida os métodos de proteção aos aparelhos, em todos os casos durante o funcionamento normal.	Interlock.

II	1	Constante; Períodos longos; Frequente.	Muito elevado	Os aparelhos manter-se-ão operacionais, mesmo em caso de avaria rara, em presença de atmosferas explosivas. No caso de avaria de um dos meios de proteção, haja pelo menos um segundo meio independente que assegure o nível de proteção exigido. Além disso, o nível de proteção é garantida, mesmo no caso de dois defeitos de forma independente se manifestarem.	Emissividade térmica; Estanquicidade; Interlock; Segurança Intrínseca.
	2	Provável	Elevado	Os aparelhos manter-se-ão operacionais, mesmo em caso de avaria frequente ou defeitos de funcionamento, em presença de atmosferas explosivas.	Emissividade térmica; Estanquicidade; Interlock.
	3	Pouco provável	Normal	Os aparelhos asseguram o nível de proteção necessário durante o funcionamento normal.	Emissividade térmica; Estanquicidade.

Anexo II - Exigências essenciais de segurança e de saúde relativas ao projeto e fabrico dos aparelhos e sistemas de proteção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Este anexo divide as exigências de proteção em comuns aos aparelhos e sistemas, adicionais para os aparelhos e adicionais para os sistemas.

Em relação às proteções comuns, o fabricante deve de ter em conta para os aparelhos:

- Não produzem nem libertam atmosferas explosivas;
- Inibem a ignição de natureza elétrica ou não elétrica;
- Capacidades de interrupção ou confinamento de explosões;
- Proteção para situação de defeito, má utilização, manutenção;
- Marcação legível e indelével;
- Manual de instruções em português;
- Materiais de fabrico não têm reações químicas;
- Projeto e fabrico com especial atenção aos depósitos, aberturas e sobrecargas;
- Não produzem fontes de ignição como faíscas, chamas, arcos elétricos, estática, aquecimento excessivo e pressão;
- Não influenciável às perturbações externas (humidade, vibrações, tensões parasitas);
- Independentes dos sistemas de segurança e informáticos.

Em relação às exigências adicionais para os aparelhos, foram descritos na tabela anterior na coluna de controlo de ignições.

As exigências adicionais para sistemas de proteção contra explosões, cobre o dimensionamento dos efeitos, a sua transmissão, as pressões e temperaturas máximas previstas, a resistência à onda de choque e suas pressões máximas dos equipamentos e tubagens, dispositivos de escape e supressão de explosão e sistemas de desacoplamento para isolamento de equipamentos.

#### Anexo III – exame CE de tipo

Este anexo descreve o procedimento pela qual um organismo notificado verifica e certifica que um exemplar representativo da produção em causa satisfaz as disposições da diretiva que lhe são aplicáveis.

Anexo IV (garantia de qualidade de produção), V (verificação do produto), VI (conformidade com o tipo), VII (garantia de qualidade do produto), VIII (controlo interno de fabrico), IX (verificação por unidade).

Estes anexos descrevem o procedimento pelo qual o fabricante com um sistema aprovado de qualidade, com ensaios e exames adequados aos requisitos a todos os aparelhos no seu aspeto técnico, com a garantia e declaração dos produtos em causa na sua conformidade com o tipo e descrito no certificado de exame CE, na qual satisfazem as exigências do diploma que se lhes aplica.

#### Anexo X – Marcação CE

A marcação CE de conformidade é constituída pelas iniciais CE, com sensivelmente a mesma dimensão vertical, não podendo ser inferior a 5 mm. Que é a abreviatura da designação francesa “Conformité Européene” que significa Conformidade Europeia. Indica a conformidade de um produto com os requisitos estabelecidos em diretivas comunitárias.

#### Anexo XI – Critérios mínimos que os Estados membros devem ter em conta para a notificação dos organismos

Neste anexo está explicito as condições necessárias para a constituição do organismo de verificação, suas competências, meios técnicos, assim como a obrigatoriedade do sigilo profissional.

**DECRETO-LEI N.º 236/2003 DE 30 DE SETEMBRO – PRESCRIÇÕES MÍNIMAS DESTINADAS A PROMOVER A MELHORIA DA PROTEÇÃO DA SEGURANÇA E DA SAÚDE DOS TRABALHADORES SUSCETÍVEIS DE EXPOSIÇÃO A RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS**

Este diploma estabelece as regras de proteção dos trabalhadores contra os riscos de exposição a atmosferas explosivas, que procedem à transposição da Diretiva n.º 1999/92/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro.

De acordo com artigo 4º com o tema “Classificação das áreas perigosas”, no número um, as áreas perigosas são classificadas, em função da frequência e da duração da presença de atmosferas explosivas, de acordo com a tabela seguinte:

Zona	Descrição	Seleção dos equipamentos Categorias
0	Área onde existe permanentemente ou durante longos períodos de tempo ou com frequência uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor ou névoa.	1
1	Área onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação ocasional de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor ou névoa.	1 ou 2
2	Área onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de uma atmosfera explosiva constituída por uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis, sob a forma de gás, vapor ou névoa, ou onde essa formação, caso se verifique, seja de curta duração.	1, 2 ou 3
20	Área onde existe permanentemente ou durante longos períodos de tempo ou com frequência uma atmosfera explosiva sob a forma de uma nuvem de poeira combustível.	1
21	Área onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação ocasional de uma atmosfera explosiva sob a forma de uma nuvem de poeira combustível.	1 ou 2
22	Área onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de uma atmosfera explosiva sob a forma de uma nuvem de poeira combustível, ou onde essa formação, caso se verifique, seja de curta duração.	1, 2 ou 3

Para efeitos do n.º 1 do artigo 5º do Decreto-Lei, o empregador deve avaliar de forma global os riscos de explosão, tendo em conta os seguintes aspetos:

- a) A probabilidade de ocorrência de atmosferas explosivas, bem como a sua duração;
- b) A probabilidade da presença de fontes de ignição;
- c) As descargas electrostáticas provenientes dos trabalhadores ou do ambiente de trabalho;

- d) As instalações, as substâncias utilizadas, os processos e as suas eventuais interações;
- e) As áreas que estejam ou possam estar ligadas através de aberturas;
- f) A amplitude das consequências previsíveis.

Esta avaliação deve de ser divulgada e arquivada, assim como a elaboração de um manual de proteção contra explosões seguindo os aspetos descritos no artigo 9º com o tema “Manual de proteção contra explosões”.

No n.º 1 do artigo 6º com o tema de “Prevenção e proteção contra explosões”, o empregador deve prevenir a formação de atmosferas explosivas através de medidas técnicas (ventilação artificial) e organizativas (isolamento automático da zona), não sendo possível garantir a sua eficácia, deve adotar medidas técnicas (equipamentos categorizados para a zona) e organizativas (proibição de foguear, fumar, etc.) que evitem a ignição das mesmas e atenuem (paredes em aço reforçado, tampas para descompressão da onda. Etc.) os efeitos prejudiciais de uma explosão, assim como medidas que contrariem (filtros em camadas de rede ou camadas de chapas metálicas espaçadas adequadamente, etc.) a propagação de explosões.

O artigo 7º estabelece que o local de trabalho onde possa formar atmosferas explosivas devem ser executados em segurança, e monitorizados durante a presença de trabalhadores. Estas áreas devem ser classificadas e sinalizadas (com o formato indicado no anexo do presente diploma), o início das atividades em áreas perigosas está condicionado a autorização de execução, a emitir pelo empregador (n.º 2 do art. 10º),

Segundo o artigo 11º com o tema “Medidas de proteção contra explosões”, as substâncias resultantes das fugas ou libertações devem ser desviadas para lugares seguros, as medidas devem ser tabeladas pela que têm o potencial mais elevado, o vestuário deve ser o adequado, os equipamentos só podem ser postos em serviço, se o manual ATEX, indicar que pode ser utilizado com segurança e verificada por um técnico especializado, os locais são concebidos para minimizar os riscos de explosão, em caso de acidente os trabalhadores são alertados por sinais óticos e sonoros, as saídas de emergência sejam mantidas em boas condições.

Os equipamentos de trabalho que estejam em utilização em áreas onde se possam formar atmosferas explosivas antes da entrada em vigor do presente diploma devem satisfazer as prescrições mínimas previstas no artigo 11.º.

Os trabalhadores que prestam serviço em áreas onde se possam formar atmosferas explosivas uma formação adequada à proteção contra explosões (art. 15º).

## DESPACHO N.º 4321/2007 DE 9 DE MARÇO – LISTA DE NORMAS HARMONIZADAS.

Lista das normas harmonizadas no âmbito de aplicação da diretiva relativa aos aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, ao abrigo do n.º 1 do artigo 16º e para efeito do n.º 2 do artigo 7º, ambos do Decreto-Lei n.º 112/96, de 5 de Agosto, e de acordo com a comunicação da Comissão Europeia n.º 2013/C 128/03, de 04 de Maio, é publicada uma lista das normas portuguesas que transpõem as normas harmonizadas do âmbito da Diretiva n.º 94/9/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Março, relativa aos aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

### 2. LEGISLAÇÃO EUROPEIA

Reconhecida a necessidade de legislação específica e atenta a dimensão global, os estados membros da União Europeia (UE) abrem mão de parte da sua soberania e passam a aceitar a decisão dos tratados, através da supremacia do ordenamento supranacional sobre o nacional. A UE aplica um conjunto de regras básicas de forma a proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores. Para este efeito, as diretivas estabelecem obrigações para as entidades patronais e para os trabalhadores, nomeadamente identificar perigos e avaliar risco para limitar os acidentes de trabalho e as doenças profissionais. Estas diretivas são transportas para a ordem jurídica interna nas formas de Leis, Decreto-lei etc.

A livre circulação de mercadorias no mercado comum levou à criação de mecanismos (na forma de diretivas) para garantir a qualidade dos produtos baseados na prevenção de barreiras ao comércio, de reconhecimento mútuo e de harmonização técnica.

Estas diretivas são baseadas nos seguintes princípios:

- A harmonização está limitada aos requisitos essenciais de Segurança e Saúde no Trabalho (SST);
- Só os produtos que satisfazem os requisitos de SST é que podem ser colocados no mercado e entrarem em serviço;
- As normas harmonizadas transpostas para o direito nacional estão em conformidade com os requisitos SST;

- Aplicação das normas harmonizadas ou outras especificações técnicas continuam a ser voluntária, e os fabricantes são livres de escolher qualquer solução técnica que proporciona o cumprimento dos requisitos SST.

Os equipamentos que estão em conformidade com as diretivas levam a marcação CE e uma Declaração de Conformidade que é como se fosse um passaporte para o mercado comum, os componentes devido à sua estrutura leva só um atestado de conformidade.

Neste âmbito nascem as seguintes diretivas:

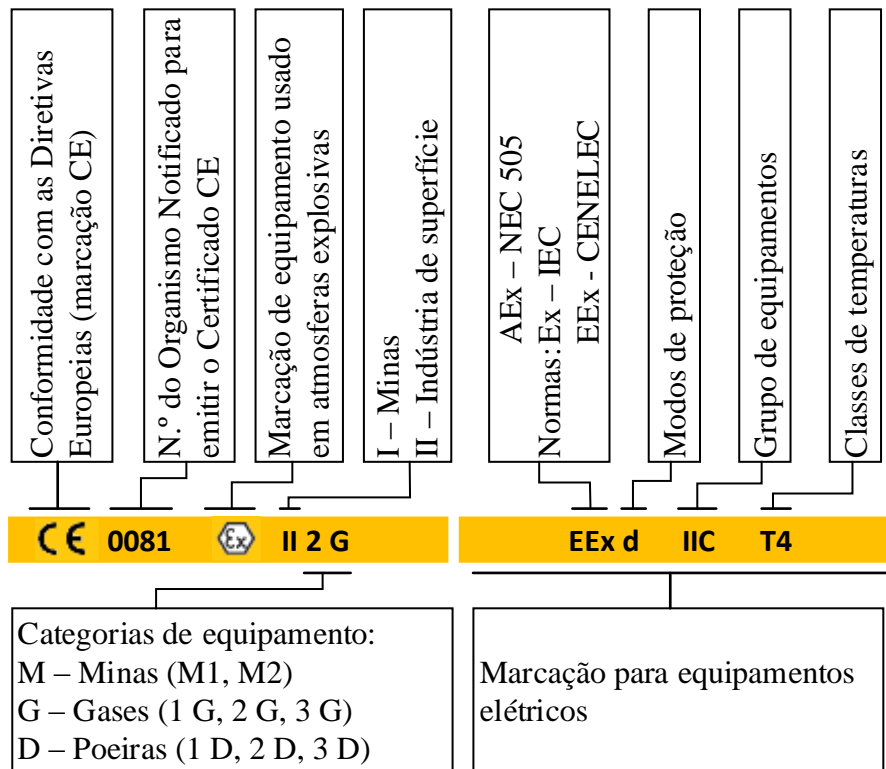
#### DIRETIVA 94/9/EC – ATEX 95

A ATEX 95 (Diretiva já transposta através do Decreto-Lei n.º 112/96), regulamenta os equipamentos e sistemas de proteção destinados ao uso em atmosferas potencialmente explosivas, os dispositivos de segurança e controladores para o uso fora da área perigosa, mas essenciais para o funcionamento em segurança dos referidos equipamentos, também são abordados. Esta diretiva aplica-se a equipamentos elétricos e não elétricos em ambientes com gases, vapores, nevoas e poeiras explosivas.

A diretiva não abrange as seguintes aplicações:

- a) Os dispositivos médicos a utilizar num contexto clínico;
- b) Os aparelhos e sistemas de proteção, quando o perigo de explosão seja devido exclusivamente à presença de matérias explosivas ou de substâncias químicas instáveis;
- c) Equipamento a utilizar em contextos domésticos e não comerciais onde só raramente se possam criar atmosferas potencialmente explosivas, apenas em resultado de fuga accidental de gás;
- d) Os equipamentos de proteção individual abrangidos pela Diretiva 89/686/CEE;
- e) Os navios de mar e unidades móveis offshore, assim como os equipamentos a bordo desses navios ou unidades;
- f) Os meios de transporte, ou seja, os veículos e respetivos reboques destinados apenas ao transporte de passageiros por via aérea, em redes rodoviárias, ferroviárias ou navegáveis e os meios de transporte, quando concebidos para o transporte de mercadorias por via aérea, em redes públicas rodoviárias, ferroviárias ou navegáveis. Não são excluídos os veículos a utilizar numa atmosfera potencialmente explosiva;
- g) Os equipamentos abrangidos pelo n.º 1, alínea b), do artigo 223º do Tratado.

Todos os equipamentos e sistemas de proteção devem ser marcados de forma legível e indelével, como na seguinte figura:



Modos de proteção:

- Equipamento antideflagrante (suporta a explosão interna de uma mistura inflamável que tenha penetrado no seu interior, sem sofrer danos estruturais e sem transmitir a inflamação interna à atmosfera explosiva exterior), utilização em zona 1 – “d”, EN 60079-1;
- Segurança aumentada (evita aquecimentos, resistente a impactos, anti-estático, ou arcos elétricos em equipamentos que em condições normais não os produzem), utilização em zona 1 – “e”, EN 60079-7;
- Sobrepressão interna (atmosfera interna constituída por ar aspirado a partir de um local seguro ou por um gás inerte, com uma pressão mais elevada do que a exterior e não deve ser inferior a 50 Pa) – “p”, EN 60079-2;
- Dielétrico especial por imersão em óleo (partes ativas mergulhadas em óleo para não entrarem em contacto com a atmosfera explosiva) – “o”, EN 60079-6;
- Dielétrico especial por imersão em areia (partes ativas submersas numa massa isolante em pó) – “q”, EN 60079-5;



- Segurança intrínseca (o arco elétrico produzido, normal ou acidentalmente, é incapaz de provocar, nas condições de ensaio prescritas, a ignição da mistura explosiva para a qual o circuito ou parte do circuito foi projetado) – “i”, EN 60079-11;
  - Para utilização em todas as áreas perigosas, a proteção matem-se com um coeficiente de segurança de 1,5 com uma falha e 1 com duas falhas simultâneas – “ia”;
  - Para utilização apenas em áreas onde a atmosfera explosiva não é permanente, proteção mantém-se em caso de falha, com um coeficiente de segurança 1,5 – “ib”;
- Encapsulamento (partes em tensão situadas no seio de uma resina resistente às solicitações externas de tal forma que uma atmosfera explosiva não possa inflamar-se nem devido à faísca nem a sobreaquecimentos que se possam verificar no interior) – “m”, EN 60079-18;
- Respiração restringida / anti-chispa (em funcionamento normal não seja capaz de inflamar uma atmosfera explosiva circundante nem apresentar de modo provável, um defeito capaz de provocar a inflamação) – “n”, EN 60079-15;

Classes de Temperatura EN 60079-0:

	T1 (450 °C)	T2 (300 °C)	T3 (200 °C)	T4 (135 °C)	T5 (100 °C)	T6 (85 °C)
<b>I</b>	Metano					
<b>II A</b>	Acetona; Etano; Amônia; Benzol (puro); Ácido acético; Metano; Metanol; Propano; Tolueno.	Etanol; Acetato de i-amilo; n-Butano; n-Butil álcool.	Benzeno; Gasóleo; Jet Fuel; n-hexano.	Acetylaldehyde; Éter etílico.		Nitrous acid ethyl ester
<b>II B</b>	Gás de carvão (gás de iluminação)	Etileno	1,1- Dimethylhydraz ine	1,1'- Oxybisethane		
<b>II C</b>	Hidrogénio	Acetileno				Dissulfureto de carbono

Grupos de equipamentos (atmosféricos) EN 60079-0:

Minas	Indústrias de superfícies					
Gás				Pó		
Grupo I	Grupo II			Grupo III		
	IIA	IIB	II C	IIIA	IIIB	IIIC
Metano	Propano	Etileno	Hidrogénio	Combustível no ar	Pó não condutivo	Pó condutivo (eletricamente)

DIRETIVA 99/92/EC – ATEX 137.

Diretiva 1999/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 1999 (Diretiva já transposta através do Decreto-Lei n.º 236/2003), Relativa às prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores suscetíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas (15.a diretiva especial, na aceção do n.º 1 do artigo 16.o da Diretiva 89/391/CEE),

ATEX 137, anteriormente conhecido como ATEX 118a, não se aplica a:

- a) Às áreas utilizadas diretamente no e durante o tratamento médico de doentes;
- b) À utilização de aparelhos a gás, em conformidade com a Diretiva 90/396/CEE (1);
- c) Ao fabrico, manipulação, utilização, armazenagem e transporte de explosivos ou de substâncias quimicamente instáveis;
- d) Às indústrias extrativas abrangidas pelas Diretivas 92/91/CEE (2) ou 92/104/CEE (3);
- e) À utilização de meios de transporte terrestre, marítimo e aéreo aos quais se aplicam as disposições pertinentes de acordos internacionais (por exemplo ADN (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par voies de Navigation intérieures), ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route), ICAO (International Civil Aviation Organization), OMI (Organização Marítima Internacional), RID (International carriage of dangerous goods by rail)), e as diretivas comunitárias que lhes dão aplicação. Não são excluídos os meios de transporte

O empregador deve de adotar as medidas técnicas e/ou organizacionais adequadas à natureza dado processo de fabrico, em ordem de prioridade e de acordo com os seguintes princípios básicos:

- Prevenir e proteger contra explosões;
- Avaliar os riscos de explosão, compilar documento de proteção contra explosões;
- Organizar o trabalho para se realizar com segurança;
- Garantir a fiscalização adequada durante a presença de trabalhadores;
- Coordenar as medidas de segurança em locais de trabalho compartilhados;
- Classificar os espaços de trabalho para as zonas: Zonas 0, 1 e 2 para gases e vapores. Zonas de 20, 21 e 22 para poeiras;
- Selecionar o equipamento de acordo com a ATEX 95;
- Formar os trabalhadores;
- Criar e manter instruções e autorizações de trabalho;
- Tomar medidas de proteção contra explosões (anexo II da diretiva 99/92CE);
- Sinalizar os lugares Classificados com um sinal 'EX';
- Verificar o local por um técnico competente antes de usar pela primeira vez.

A seleção dos equipamentos e sistemas de proteção (exceto no caso do documento de proteção contra explosões com base numa avaliação de risco o declarar de outra forma), para todas as áreas em que se podem formar atmosferas explosivas, devem de ser selecionados com base nas categorias definidas na ATEX 95. As seguintes categorias de equipamento deve ser utilizado nas zonas indicadas:

- Zona 0 ou 20 a categoria 1 G/D;
- Zona 1 ou 21 a categoria 1 ou 2 G/D;
- Zona 2 ou 22 a categoria 1, 2 ou 3 G/D

## CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS PERIGOSAS

No anexo I da Diretiva 1999/92/CE a classificação de áreas é um método de análise e classificação do ambiente onde possa ocorrer uma atmosfera explosiva de gás, de modo a facilitar a seleção adequada e instalação de equipamentos a serem usados com segurança em tais ambientes, levando em conta os grupos de gás, assim como as respectivas classes de temperatura. Nos locais onde exista uma grande probabilidade de ocorrência de uma

atmosfera explosiva de gás, a confiabilidade é obtida pelo uso de equipamentos que tenham uma baixa probabilidade de se tomarem fontes de ignição.

Este método está desenvolvido na norma Europeia “EN 60079-10-1:2009 Atmosferas explosivas. Parte 10-1:Classificação das áreas - Atmosferas explosivas gasosas” e “EN 60079-10-2:2009 Atmosferas explosivas. Parte 10-2:Classificação das áreas - Atmosferas com poeira combustível”.

As fábricas e suas instalações devem de ser de áreas do tipo zona 2 na sua generalidade ou área não classificada. Se na eventualidade a fonte de risco for inevitável (despressurização, purga etc.), os equipamentos de processo devem ser limitados àqueles que dão origem a fontes de risco de grau secundário (com sistema retardador ou controlador de corte rápido) ou se for inevitável ter-se fontes de risco de grau primário ou contínuo, então as fontes de risco devem ser limitadas em quantidade e limitados os seus caudais.

O processo de classificação de área inicia com a determinação das fontes de risco (o seu grau é “contínuo, primário ou secundário”), tendo-se estabelecido o grau da fonte de risco, é necessário determinar a taxa de libertação e outros fatores que iram influenciar o tipo e a extensão da zona, normalmente uma fonte de risco de grau contínuo origina uma zona 0, a de grau primário a uma zona 1 e um grau secundário a uma zona 2. A extensão da zona irá depender da distância calculada na qual uma atmosfera explosiva de gás subsista antes que a concentração esteja abaixo do seu limite inferior de explosividade.

Este processo de classificação está mais desenvolvido no capítulo III em metodologias utilizadas.

## MANUAL DE PROTEÇÃO CONTRA EXPLOSÕES

De acordo com artigo 8º com o tema “Documento sobre proteção contra explosões”, da Diretiva 1999/92/CE, o manual de proteção contra explosões (que deve ser elaborado antes do início do trabalho) têm como âmbito o estudo e a divulgação das medidas de prevenção, para que identifique as situações de perigo, avalie os riscos e designe as medidas de prevenção a ter em conta, e para que se mantenha atualizado é revisto sempre que haja modificações, ampliações ou transformações nos equipamentos ou processos de fabricação e local de trabalho.

A complexidade do manual varia em função do número de riscos existentes nas zonas abrangidas e é constituído normalmente pelos seguintes elementos constativos:

- Identificação das substâncias existentes;
- Classificação das áreas perigosas;
- Seleção de aparelhos (Diretiva 94/9/CE);
- Avaliação dos riscos de explosão;
- Medidas de proteção contra explosões (anexo II da presente Diretiva);
- Dados da conceção, utilização e manutenção dos procedimentos de segurança do local de trabalho e dos equipamentos.

O manual é um documento indispensável à implementação de medidas de segurança em todas as zonas classificadas. Assim, sempre que uma área é classificada a entidade patronal deve elaborar um manual em que constem todos os aspetos relevantes a ela aplicável.

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA EXPLOSÕES

Segundo o anexo II, secção A. da Diretiva 1999/92/CE, as áreas classificadas assim como equipamentos situados em áreas não classificadas mas contribuem para o funcionamento seguro, devem de cumprir com as seguintes medidas:

- a. Medidas organizacionais
  - ✓ Formação dos trabalhadores;
  - ✓ Instruções e autorizações para execução de trabalhos;
  - ✓ Qualificação suficiente dos trabalhadores;
  - ✓ Vigilância dos trabalhadores;
  - ✓ Manutenção dos equipamentos;
  - ✓ Inspeção e controlo dos processos de produção;
  - ✓ Sinalização das atmosferas potencialmente explosivas (anexo III, deve de ser de forma triangular com letras negras sobre fundo amarelo, bordeado a negro);
  - ✓ Normas e procedimentos.
- b. Medidas técnicas
  - ✓ Prevenção da formação de atmosferas explosivas perigosas:
    1. Substituir as substâncias inflamáveis;
    2. Limitar a concentração;

3. Inertizar;
  4. Prevenir ou reduzir a formação de atmosferas explosivas em torno das instalações;
  5. Utilizar detetores de gás.
- ✓ Prevenção das fontes de ignição:
    1. Adotar medidas de proteção destinadas a evitar a presença de fontes de ignição ou a reduzir a probabilidade de ocorrência.
  - ✓ Proteção contra os efeitos de explosão:
    1. Conceção contra os efeitos de explosão;
    2. Descarga de explosão;
    3. Supressão da explosão;
    4. Prevenção da propagação de chamas e da explosão.

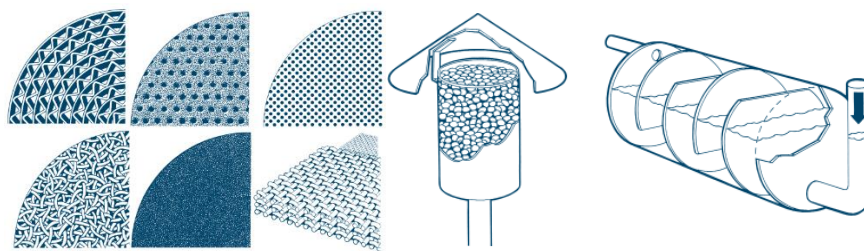
Como podemos constatar a proteção contra explosões engloba um conjunto de medidas como o projetar equipamentos, invólucros e prédios por forma a suportar a pressão de uma explosão seguindo os seguintes critérios:

- Ventilação (uma boa ventilação garante que quaisquer vapores inflamáveis sejam rapidamente dispersos);
- Separação (o distanciamento é um importante meio de fornecer proteção para tanques que contenham líquidos inflamáveis);
- Contenção (os recipientes que contém líquidos inflamáveis garantem a sua força e integridade para suportar a pressão de uma explosão);
- Alívio de pressão (consiste em interromper o curso da elevação de pressão durante a explosão, escoando os gases por aberturas (discos de rutura) suficientemente grandes para o exterior do equipamento,
- Supressão (o mecanismo de supressão deteta a explosão e descarrega um material extintor para arrefecer a chama antes que pressões destrutivas se desenvolvam);
- Isolamento (permite que as explosões não se propagem para outros pontos das instalações através de válvulas de ação rápida);
- Controlo de fontes de ignição – medidas para controlar a introdução de fontes de ignição, as fontes de ignição mais comuns incluem:
  - Equipamentos elétricos desprotegido;
  - Chamas nuas (equipamento de soldagem e corte);

- Fumar;
- Veículos com motores de combustão interna;
- Superfícies quentes;
- Aquecimento por fricção ou faíscas;
- Eletricidade estática.

Prevenção da propagação de incêndios e explosões em equipamentos que contenham gases e vapores inflamáveis:

- Corta-chamas são geralmente localizados em tubos de ventilação dos tanques de armazenamento, em tubos que transportam os vapores ou gases para as flares, são barreiras entre equipamentos, evitando assim a propagação das chamas. Existem três categorias de corta-chamas:
  - Proteção de fim de linha (para a deflagração);
  - Proteção em linha (para a deflagração);
  - Proteção contra detonação.



- Medidas de proteção contra incêndios pode ser fornecida por:
  - Revestimentos resistentes ao fogo;
  - Paredes corta-fogo;
  - Sistemas de refrigeração a água;
  - Contentores de espuma ou sistemas de extinção automático.

## CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE PROTEÇÃO

Segundo o anexo II, secção B. da Diretiva 1999/92/CE os equipamentos e sistemas de proteção a utilizar em zonas classificadas devem ser selecionados tomando como base os requisitos estabelecidos na seguinte regulamentação:

- Diretiva 94/9/CE - Harmonização dos requisitos de segurança de equipamentos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas explosivas;

- Decreto-Lei n.º 112/1996, de 5 de Agosto – Requisitos de segurança de aparelhos e sistemas de proteção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas;
- Portaria n.º 341/97, de 21 de Maio – Procedimentos de avaliação de conformidade;
- Despacho n.º 4321/2007 de 9 de Março – Lista de normas harmonizadas;
- Decreto-Lei n.º 348/93, de 01 de Outubro – Transpõe a Diretiva 89/656/CEE relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde dos trabalhadores na utilização de EPI;
- Portaria n.º 988/93, de 06 de Outubro – Faz a descrição técnica do EPI e das atividades e sectores de atividade para os quais aquele pode ser necessário.

Previsto no art.º 7º do DL 348/93.

Os critérios de seleção são definidas para excluir equipamentos e componentes como fontes de ignição, tais como as faíscas (atrito ou impacto) ou de carga eletrostática, estas propriedades têm que ser evitadas em equipamentos protegidos para trabalhar em ambientes explosivos, atingindo-se este objetivo selecionando materiais apropriados ou por medidas construtivas, medidas estas que seguem quatro princípios de proteção que podem impedir que os equipamentos se tornem em uma fonte de ignição:

- Manter os gases inflamáveis fora dos equipamentos;
- Conter a explosão e extinguir a chama nos equipamentos;
- Limitar a energia das faíscas e das temperaturas da superfície do equipamento;
- Incapacitar os equipamentos na criação de arcos, faíscas ou superfícies quentes.

Na seguinte tabela encontram-se sistematizadas estes princípios:



Princípios de proteção	Tipos de proteção		Equipamentos p/			Categ.
			Gases e vapores		Poeiras	
			Elétricos	Não Elétr.	Elétrico	
As misturas explosivas podem penetrar no equipamento e ser inflamado. São tomadas medidas para garantir que a explosão não se espalhe para a atmosfera circundante.	Envolvente antideflagrante	d	EN60079-1	EN13463-3		2
	Dielétrico por imersão em pó	q	EN60079-5			2
	Dispositivo fechado equilibrado	nC	EN60079-15			3
O equipamento está equipado com um invólucro que impede a entrada de uma mistura explosiva e/ou contacto com as fontes de ignição decorrentes das operações normais.	Sobrepresão interna	px, py	EN60079-2	EN60079-2	IEC61241-4	2
	Sobrepresão interna	pz	EN60079-2			3
	Respiração restringida	nR, fr	EN60079-15	EN13463-2		3
	Proteção por invólucro	ta, tb, tc			EN60079-31	2
	Dielétrico por imersão em óleo	o	EN60079-6			2
	Imersão em líquido	k		EN13463-8		2
	Encapsulado	ma, mb, mc	EN60079-18		EN60079-18	1, 2, 3
	Componente Antideflagrante	nC	EN60079-15			3
	Dispositivo encapsulado	nC	EN60079-15			3
	Dispositivo Selado	nC	EN60079-15			3
	Dispositivo hermeticamente fechado	nC	EN60079-15			3
Misturas explosivas podem penetrar no invólucro, mas não podem ser inflamadas. Faíscas e temperaturas suscetíveis de provocar a ignição devem ser evitadas.	Segurança aumentada	e	EN60079-7			2
	Anti-chispa	nA	EN60079-15			3
	Proteção por segurança construtiva	c		EN13463-5		2
Misturas explosivas podem penetrar no invólucro, mas não podem ser inflamadas. Faíscas e temperaturas capazes de provocar a ignição só pode ocorrer dentro de certos limites.	Segurança intrínseca	ia, ib, ic	EN60079-11		EN60079-11	1, 2, 3
	Energia limitada	nL	EN60079-15		EN60079-15	3
	Proteção por controlo de fontes de ignição	b		EN13463-6		2
	Radiação ótica	op	EN60079-28			1, 2, 3

#### PRINCIPIOS DE PROTEÇÃO

Um pré-requisito importante para todos os princípios da proteção é que as partes que estão em contacto com a atmosfera explosivas, sem impedimentos físicos, não devem ser capazes de atingir temperaturas superiores à temperatura de ignição das substâncias presentes no local de instalação. Isto significa que ser conhecedor da temperatura de ignição das substâncias envolventes é relevante para a escolha do equipamento (classe de temperatura). Muitos fatores, tais como o tamanho, a forma, o tipo e qualidade de superfície tem uma influência sobre a temperatura de ignição, estas temperaturas de superfície em equipamentos protegido da explosão e outros objetos tecnológicos são projetado de tal forma que a ignição pela superfície não seja possível, não excedendo os valores admissíveis e as margens de segurança necessárias dos valores padrões definidas em detalhes no EN 60079-20-1.

De um modo geral, a seleção dos equipamentos deve ser efetuada atendendo ao tipo de zona em que o equipamento irá ser utilizado.

Na seguinte tabela encontram-se sistematizadas as categorias de equipamentos que poderão ser utilizados em cada tipo de zona:

Definição Nível de proteção	Adequação de Segurança	EU (ATEX)		Zona típica da aplicação
		Categ.	Grupo	
Minas. "Muito alto"	Por meio de duas medidas de proteção / 2 falhas	M1	I	N/A
Minas. "Alto"	O equipamento permite ser desenergizado, no caso de uma atmosfera explosiva	M2		
Gases, vapores, névoas. "Muito alto"	Por meio de duas medidas de proteção / 2 falhas	1 G	II	0
Gases, vapores, névoas. "Alto"	Ocorre frequentemente falhas dos equipamentos / 1 falha	2 G		1
Gases, vapores, névoas. "Normal"	Operação normal	3 G		2
Poeiras. "Muito alto"	Por meio de duas medidas de proteção / 2 falhas	1D	III	20
Poeiras. "Alto"	Ocorre frequentemente falhas dos equipamentos / 1 falha	2D		21
Poeiras. "Normal"	Operação normal	3D		22

**CATEGORIAS DOS EQUIPAMENTOS ADEQUADOS A CADA ZONA**

### 3. NORMAS

A Normalização iniciou-se há cerca de um século, altura em que a indústria teve o seu grande desenvolvimento, os países sentiram a necessidade de definir regras para a utilização, em segurança, principalmente no setor elétrico.

Assim, em 1906, constituíram em Londres a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), mais tarde, em 1947, foi criada uma nova organização com o objetivo de coordenar e unificar as normas internacionais, com exclusão da área eletrotécnica, a Organização Internacional de Normalização (ISO), já no início da década de 70 surgem duas organizações europeias de normalização o Comité Europeu de Normalização (CEN) e o Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC).

#### IEC (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION)

A IEC é uma organização não-governamental responsável pela elaboração e publicação de Normas internacionais relativo a todas as tecnologias elétricas e eletrônicas.

A IEC foi fundada em 1906 (em Londres), com sede em Genebra na Suíça desde 1948. Conta com 82 países dos quais 60 são membros efetivos e 22 são membros associados e possui centros regionais na Ásia IEC-APRC (Singapura), América Latina IEC-LARC (São Paulo, Brasil), América do Norte IEC-ReCNA (Boston, Estados Unidos) e IECEx/IECQ (Sydney, Austrália).

A IEC é a principal organização internacional do mundo na sua área, e suas normas são adotadas como normas nacionais pelos países-membros. Cada país-membro possui um comitê nacional que representa os interesses do país junto da IEC. Portugal aderiu em 1929 e é o IPQ (Instituto Português da Qualidade) quem representa junto da IEC.

As normas para atmosferas explosivas são: IEC 60079-0 ed6.0 (2011-06) – Equipment - General requirements; IEC 60079-1 ed6.0 (2007-04) – Equipment protection by flameproof enclosures "d"; IEC 60079-2 ed5.0 (2007-02) – Equipment protection by pressurized enclosures "p"; IEC 60079-5 ed3.0 (2007-03) – Equipment protection by powder filling "q"; IEC 60079-6 ed3.0 (2007-03) – Equipment protection by oil immersion "o"; IEC 60079-7 ed4.0 (2006-07) – Equipment protection by increased safety "e"; IEC 60079-10-1 ed1.0 (2008-12) – Classification of areas - Explosive gas atmospheres; IEC 60079-10-2 ed1.0 (2009-04) – Classification of areas - Combustible dust atmospheres; IEC 60079-11 ed6.0 (2011-06) – Equipment protection by intrinsic safety "i"; IEC 60079-13 ed1.0 (2010-10) – Equipment protection by pressurized room "p"; IEC 60079-14 ed4.0 (2007-12) – Electrical installations design, selection and erection; IEC 60079-15 ed4.0 (2010-01) – Equipment protection by type of protection "n"; IEC 60079-18 ed3.0 (2009-05) – Equipment protection by encapsulation "m"; IEC 60079-19 ed3.0 (2010-11) – Equipment repair, overhaul and reclamation; IEC 60079-20-1 ed1.0 (2010-01) – Material characteristics for gas and vapour classification - Test methods and data; IEC 60079-25 ed2.0 (2010-02) – Intrinsically safe electrical systems; IEC 60079-26 ed2.0 (2006-08) – Equipment with equipment protection level (EPL) Ga; IEC 60079-28 ed1.0 (2006-08) – Protection of equipment and transmission systems using optical radiation; IEC 60079-29-1 ed1.0 (2007-08) – Gas detectors - Performance requirements of detectors for flammable gases; IEC 60079-29-2 ed1.0 (2007-08) – Gas detectors - Selection, installation, use and maintenance of detectors for flammable gases and oxygen; IEC 60079-29-4 ed1.0 (2009-11) – Gas detectors - Performance requirements of open path detectors for flammable gases; IEC 60079-30-1 ed1.0 (2007-01) – Electrical resistance trace heating - General and testing requirements; IEC 60079-30-2 ed1.0 (2007-01) – Electrical resistance trace heating - Application guide for design,

installation and maintenance; IEC 60079-31 ed1.0 (2008-11) – Equipment dust ignition protection by enclosure "t"; IEC/TS 60079-32-1 ed1.0 (2013-08) – Electrostatic hazards, guidance; IEC 60079-33 ed1.0 (2012-09) – Equipment protection by special protection 's'; IEC 61241-2-1 ed1.0 (1994-12) – Test methods - Section 1: Methods for determining the minimum ignition temperatures of dust; IEC/TS 61241-2-2 ed1.0 (1993-08) - Test methods - Section 2: Method for determining the electrical resistivity of dust in layers; IEC 61241-2-3 ed1.0 (1994-09) – Test methods - Section 3: Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures; IEC 61241-4 ed1.0 (2001-03) – Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Part 4: Type of protection "pD";

### ISO (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO)

A Organização Internacional de Normalização (ISO), é uma federação mundial de organismos de normalização.

Constituída em 1947 com apenas 27 membros, na sua maioria representantes de países europeus, considera-se hoje como um organismo mundial, uma vez que nela se encontram representados os sistemas de normalização de mais de 130 países.

A ISO e a IEC trabalham em estreita colaboração, operando como um sistema único, de modo a poderem ser atingidos acordos de consenso global na normalização internacional.

Neste processo, estas duas instituições gerem mais de 1.000 comités e subcomités técnicos das delegações nacionais dos países membros e cerca de 3.000 grupos de trabalho de peritos que já deram origem a mais de 13.000 normas internacionais.

As normas para atmosferas explosivas são: ISO/IEC 80079-34 ed1.0 (2011-04) – Explosive atmospheres - Part 34: Application of quality systems for equipment manufacture.

### CEN (COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO)

O CEN é uma Associação de Organismos Nacionais de Normalização de 29 países da Comunidade Europeia (CE) e da Associação Europeia de Comércio Livre (EFTA), tendo ainda como filiados outros 9 países fora da comunidade.

A principal função do CEN é publicar as Normas Europeias (EN), sendo o alemão, o francês e o inglês as línguas oficiais adotadas.

As Normas Europeias (EN) são estabelecidas, como regra, para serem adotadas como normas nacionais nos países do CEN. Caso seja impraticável por colidir com normas nacionais idênticas, estabelecem-se Documentos de Harmonização (HD).

Têm sido dados passos importantes no relacionamento entre a Normalização Internacional ISO e a Normalização Regional (Europeia) CEN, sendo as divergências existentes compreensíveis à luz dos grandes interesses económicos em presença; de um lado o grupo América/Ásia do outro o grupo Europa.

Assim, a 27 de Junho de 1991 foi aprovado em Viena, Áustria, o acordo de cooperação técnica, entre a ISO e o CEN (Acordo de Viena). Conseguiu-se que cerca de 40% das normas europeias adotadas pelo CEN, sejam completamente idênticas às normas ISO correspondentes, por exemplo desta forma, a norma original da ISO 9001 denominava-se no CEN por EN 29001 passou a denominar-se EN ISO 9001.

As normas para atmosferas potencialmente explosivas são: EN 1127-1:2011 - Atmosferas explosivas. Prevenção de explosões e proteção. Parte 1: Conceitos básicos e metodologia; EN 1127-2:2002+A1:2008 - Atmosferas explosivas. Prevenção e proteção contra explosão. Parte 2: Conceitos básicos e metodologia em exploração mineira; EN 1710:2005+A1:2008/AC :2010 - Equipment and components intended for use in potentially explosive atmospheres in underground mines; EN 13237:2012 Atmosferas potencialmente explosivas. Termos e definições para os aparelhos e sistemas de proteção destinados à utilização em atmosferas potencialmente explosivas; EN 13463-1:2009 - Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres - Part 1: Basic method and requirements; EN 13463-2:2004 - Proteção por invólucro de circulação limitada ‘fr’; EN 13463-3:2005 - Proteção por invólucro antideflagrante ‘d’; EN 13463-5:2003 - Proteção por segurança construtiva ‘c’; EN 13463-6:2005 - Proteção por controlo da fonte de inflamação ‘b’; EN 13463-8:2003 - Proteção por imersão num líquido ‘k’; EN 13821:2002 - Determinação da energia mínima de ignição das misturas poeiras/ar; EN 14986:2007 - Design of fans working in potentially explosive atmospheres; EN 15198:2007 - Métodos para a avaliação do risco de inflamabilidade dos aparelhos e dos componentes não elétricos destinados ao uso em atmosferas explosivas; EN 15233:2007 - Método relativo à avaliação da segurança funcional dos sistemas de proteção para atmosferas explosivas; EN ISO/IEC 80079-34:2011 - Atmosferas explosivas. Parte 34:Aplicação dos sistemas de qualidade para fabrico e equipamentos; EN 60079 – Idêntico aos IEC 60079 (todas).

## NP (NORMA PORTUGUESA)

No quadro do Sistema Português da Qualidade (SPQ) - Decreto-Lei nº 140/2004, de 8 de Junho, o IPQ, como Organismo Nacional de Normalização (ONN), coordena a atividade normativa nacional, com a colaboração de Organismos de Normalização Sectorial (ONS) reconhecidos para o efeito. É da responsabilidade do IPQ a aprovação e disponibilização do Programa de Normalização (PN), o qual é preparado pelos ONS, bem como a aprovação e homologação das Normas Portuguesas.

O objetivo da normalização é o estabelecimento de soluções, por consenso das partes interessadas, para assuntos que têm carácter repetitivo, tornando-se uma ferramenta poderosa na autodisciplina dos agentes ativos dos mercados, ao simplificar os assuntos e evidenciando ao legislador se é necessário regulamentação específica em matérias não cobertas por normas.

Qualquer norma é considerada uma referência idónea do mercado a que se destina, sendo por isso usada em processos: de legislação, de acreditação, de certificação, de metrologia, de informação técnica, e até por vezes nas relações comerciais Cliente - Fornecedor.

A elaboração de normas portuguesas deve seguir o "acordo de standstill" definido em acordo com o CEN/CENELEC e segundo o qual não podem desenvolver-se trabalhos ao nível de um país, sobre normas a criar no âmbito europeu.

As normas relevantes são: NP ISO 31000:2013 - Gestão do risco. Princípios e linhas de orientação; NP 2626-426:2009 - Vocabulário Eletrotécnico Internacional. Capítulo 426: Equipamentos para atmosferas explosivas;

## NEC (NATIONAL ELECTRIC CODE)

A NEC foi desenvolvida pela NFPA Comitê do Código Nacional Elétrico (National Fire Protection Association). A NEC é reconhecido como padrão nacional americano pelo Instituto Nacional Americano de Padrões (ANSI) e é formalmente identificado como ANSI / NFPA 70. Cria padrões para instalações seguras de cabos e equipamentos elétricos nos Estados Unidos. A descrição geral das áreas de risco e tipos de proteção nos Estados Unidos são apresentados no Código Elétrico Nacional (NEC), publicado pela National Fire Protection Association (NFPA). Requisitos mais específicos podem ser encontradas em publicações, como por exemplo a partir de IEEE e UL. Equipamentos elétricos usados em locais perigosos, classificados de acordo com as regras norte-americanas, deve ser aprovado

por um organismo autorizado ou com o fabricante. O equipamento para as áreas da 1<sup>a</sup> Divisão, Zona 0 ou 1 devem sempre ser aprovado por um organismo autorizado por exemplo, UL, CSA (The Canadian Standards Association) ou FM (Factory Mutual Research).

As normas relevantes são: National Electrical Code Handbook 12th ed - M. Earley, et al., (NFPA, 2011): ARTICLE 500 – Hazardous (Classified) Locations, Classes I, II, and III, Divisions 1 and 2 500; ARTICLE 501 – Class I Locations; ARTICLE 502 – Class II Locations; ARTICLE 503 – Class III Locations; ARTICLE 504 – Intrinsically Safe Systems; ARTICLE 505 – Zone 0, 1, and 2 Locations; ARTICLE 506 – Zone 20, 21, and 22 Locations for Combustible Dusts or Ignitable Fibers/Flyings; NFPA 30-2008, Flammable and Combustible Liquids Code; NFPA 32-2007, Standard for Dry cleaning Plants; NFPA 33-2011, Standard for Spray Application Using Flammable or Combustible Materials; NFPA 34-2011, Standard for Dipping and Coating Processes Using Flammable or Combustible Liquids; NFPA 35-2005, Standard for the Manufacture of Organic Coatings; NFPA 36-2009, Standard for Solvent Extraction Plants; NFPA 45-2011, Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals; NFPA 55-2010, Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code; NFPA 58-2011, Liquefied Petroleum Gas Code; NFPA 59-2008, Utility LP Gas Plant Code; NFPA 497-2008, Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapours and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas; NFPA 499-2008, Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas; NFPA 820-2008, Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities; ANSI/API RP500-1997, Recommended Practice for Classification of Locations of Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2; ISA-12.10-1988, Area Classification in Hazardous (Classified) Dust Locations.

## **Anexo A**

### Tabelas de índices de explosão



## Propriedades de inflamabilidade dos Gases 5 L

Tabela D.1 (fonte: NFPA 68 2002)

Amostra	K <sub>G</sub> (Bar m/s)	P <sub>MAX</sub> (Bar)
Acetofenona	109	7,6
Acetileno	1415	10,6
Amônia	10	5,4
B-naftol	56	4,4
Butano	92	8
Dissulfureto de carbono	105	6,4
Éter dietílico	115	8,1
Dimetil formamida	78	8,4
Dimetilsulfóxido	112	7,3
Etano	106	7,8
Álcool etílico (etanol)	78	7
Etilbenzeno	96	7,4
Hidrogênio	550	6,8
Sulfureto de hidrogénio	45	7,4
Isopropanol	83	7,8
Metano	55	7,1
Metanol	75	7,5
Cloreto de metileno	5	5
Nitrito de metilo	111	11,4
neopentano	60	7,8
Octanol	95	6,7
Cloreto octil	116	8
Pentane	104	7,8
Propano	100	7,9
Petróleo bruto	36-62	6,8-7,6
Tolueno	94	7,8

Dados de Explosividade de Gás: medidos e ajustados com base em Bartknecht

Tabela D.2 (fonte: NFPA 68 2002)

Gás	K <sub>G</sub> Como Medido	K <sub>G</sub> Ajustado	P <sub>max</sub> (bar)
1,1-Difluoroetano	59	74,5	7.7
Acetona	65	83,5	7.3
Éter dimetílico	108	148	7.9
Etano	78	103	7.4
Álcool etílico	78	103	7.0
Etileno	171	242,5	8.0
Isobutano	67	86,5	7.4
Metano	46	55	6.7
Álcool metílico	94	127	7.2
Propano	76	100	7.3
Hidrogênio	638	943	6.5

Nota: K<sub>G</sub> Ajustado = -14.0 + 1.50 \* K<sub>G</sub> (como medido)

Produtos Agrícolas

Tabela E.1 (fonte: NFPA 68 2002)

Material	Diâmetro Mediano da Massa (m)	Concentração mínima inflamável (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bar)	K <sub>St</sub> (bar-m/s)	Classe do Risco de poeiras
Celulose	33	60	9,7	229	2
Polpa de celulose	42	30	9,9	62	1
Cortiça	42	30	9,6	202	2
Milho	28	60	9,4	75	1
Clara de ovo	17	125	8,3	38	1
Leite em pó	83	60	5,8	28	1
Leite desnatado e seco	60	—	8,8	125	1
Farinha de soja	20	200	9,2	110	1
Amido de milho	7	—	10,3	202	2
Amido, arroz	18	60	9,2	101	1
Amido, trigo	22	30	9,9	115	1
Açúcar	30	200	8,5	138	1
Açúcar e leite	27	60	8,3	82	1
Açúcar, beterraba	29	60	8,2	59	1
Tapioca	22	125	9,4	62	1
Soro de leite coalhado	41	125	9,8	140	1
Farinha de madeira	29	—	10,5	205	2

## Poeiras carbonadas

Tabela E.1 (b) (fonte: NFPA 68 2002)

Material	Diâmetro Mediano da Massa (m)	Concentração mínima inflamável (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bar)	K <sub>St</sub> (bar-m/s)	Classe do Risco de poeiras
Carvão ativado	28	60	7,7	14	1
Carvão vegetal, madeira	14	60	9,0	10	1
Carvão, betuminoso	24	60	9,2	129	1
Coque, petróleo	15	125	7,6	47	1
Fuligem	<10	60	8,4	121	1
Linhita	32	60	10,0	151	1
Turfa, 22% H <sub>2</sub> O	—	125	84,0	67	1
Fuligem, pinho	<10	—	7,9	26	1

## Poeiras químicas

Tabela E.1 (c) (fonte: NFPA 68 2002)

Material	Diâmetro Mediano da Massa (m)	Concentração mínima inflamável (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bar)	K <sub>St</sub> (bar-m/s)	Classe do Risco de poeiras
Ácido adípico	<10	60	8,0	97	1
Antraquinona	<10	—	10,6	364	3
Ácido ascórbico	39	60	9,0	111	1
Acetato de cálcio	92	500	5,2	9	1
Calcium acetate	85	250	6,5	21	1
Estearato de cálcio	12	30	9,1	132	1
Carboximetil-celulose	24	125	9,2	136	1
Dextrina	41	60	8,8	106	1
Lactose	23	60	7,7	81	1
Lead stearate	12	30	9,2	152	1
Metilcelulose	75	60	9,5	134	1
Paraformaldeído	23	60	9,9	178	1
Ascorbato de sódio	23	60	8,4	119	1
Estearato de sódio	22	30	8,8	123	1
Enxofre	20	30	6,8	151	1

## Poeiras de metal

Tabela E.1 (d) (fonte: NFPA 68 2002)

Material	Diâmetro Mediano da Massa (m)	Concentração mínima inflamável (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bar)	K <sub>St</sub> (bar-m/s)	Classe do Risco de poeiras
Alumínio	29	30	12,4	415	3
Bronze	18	750	4,1	31	1
Ferro carbonila	<10	125	6,1	111	1
Magnésio	28	30	17,5	508	3
zinco	10	250	6,7	125	1
Zinc	<10	125	7,3	176	1

## Poeiras de plástico

Tabela E.1 (e) (fonte: NFPA 68 2002)

Material	Diâmetro Mediano da Massa (m)	Concentração mínima inflamável (g/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bar)	K <sub>St</sub> (bar-m/s)	Classe do Risco de poeiras
(poli) Acrilamida	10	250	5.9	12	1
(poly) Acrilonitrila	25	—	8.5	121	1
(poly) Etileno (baixa densidade)	<10	30	8.0	156	1
Resina epóxida	26	30	7.9	129	1
Resina melamina	18	125	10.2	110	1
Melamina, moldada (farinha de madeira e de carga mineral de fenol-formaldeído)	15	60	7.5	41	1
Melamina moldada (fenol-celulose)	12	60	10,0	127	1
(poly)Acrilato de metilo	21	30	9,4	269	2
(poly) Acrilato de metilo, polímero de emulsão	18	30	10,1	202	2
Resina fenólica	<10	15	9.3	129	1
(poly)Propileno	25	30	8.4	101	1
Resina de terpeno-fenol	10	15	8,7	143	1
Ureia-formaldeído / celulose, moldados	13	60	10,2	136	1
(poly) O acetato de vinila / copolímero de etileno	32	30	8,6	119	1
(poly) álcool vinil	26	60	8,9	128	1
(poly) vinilbutiral	65	30	8,9	147	1
(poly) cloreto de vinila	107	200	7,6	46	1

Table C.1(a) Fundamental Burning Velocities of Selected Gases and Vapors (fonte: NFPA 68 2002)

Gas	$S_u$ (cm/sec)	Gas	$S_u$ (cm/sec)
Acetone	54	Ethyl acetate	38
Acetylene	166*	Ethylene oxide	108
Acrolein	66	Ethylenimine	46
Acrylonitrile	50	Gasoline (100-octane)	40
Allene (propadiene)	87	n-Heptane	46
Benzene	48	Hexadecane	44
,n-butyl-	37	1,5-Hexadiene	52
,tert.obutyl-	39	n-Hexane	46
,1,2-dimethyl-	37	1-Hexene	50
1,2,4-trimethyl-	39	1-Hexyne	57
1,2-Butadiene (methylallene)	68	3-Hexyne	53
1,3-Butadiene	64	Hydrogen	312 *
2,3-dimethyl-	52	Isopropyl alcohol	41
2-methyl-	55	Isopropylamine	31
n-Butane	45	Jet fuel, grade JP-1 (average)	40
2-cyclopropyl-	47	Jet fuel, grade JP-4 (average)	41
2,2-dimethyl-	42	Methane	40*
2,3-dimethyl-	43	diphenyl-	35
2-methyl-	43	Methyl alcohol	56
2,2,3-trimethyl-	42	1,2-Pentadiene (ethylallene)	61
Butanone	42	cis-1,3-Pentadiene	55
1-Butene	51	trans-1,3-Pentadiene (piperylene)	54
2-cyclopropyl-	50	2-methyl-(cis or trans)	46
2,3-dimethyl-	46	1,4-Pentadiene	55
2-ethyl-	46	2,3-Pentadiene	60
2-methyl-	46	n-Pentane,	46
3-methyl-	49	2,2-dimethyl-	41
2,3-dimethyl-2-butene	44	2,3-dimethyl-	43
2-Buten 1-yne (vinylacetylene)	89	2,4-dimethyl-	42
1-Butyne	68	2-methyl-	43
3,3-dimethyl-	56	3-methyl-	43
2-Butyne	61	2,2,4-trimethyl-	41
Carbon disulfide	58	1-Pentene	50
Carbon monoxide	46	2-methyl-	47
Cyclobutane	67	4-methyl-	48
ethyl-	53	cis-2-Pentene	51
isopropyl-	46	1-Pentene	63
methyl-	52	4-methyl-	53
methylene	61	2-Pentyne	61
Cyclohexane	46	4-methyl-	54

methyl-	44	Propane	46*
Cyclopentadiene	46	2-cyclopropyl-	50
Cyclopentane	44	1-deutero-	40
methyl-	42	1-deutero-2-methyl-	40
Cyclopropane	56	2-deutero-2-methyl-	40
cis-1,2-dimethyl-	55	2,2-dimethyl-	39
trans-1,2-dimethyl-	55	2-methyl-	41
ethyl-	56	2-cyclopropyl	53
methyl-	58	2-methyl-	44
1,1,2-trimethyl-	52	Propionaldehyde	58
trans-Decalin (decahydronaphthalene)	36	Propylene oxide (1,2-epoxypropane)	82
<i>n</i> -Decane	43	1-Propyne	82
1-Decene	44	Spiropentane	71
Diethyl ether	47	Tetrahydropyran	48
Dimethyl ether	54	Tetralin (tetrahydronaphthalene)	39
Ethane	47	Toluene (methylbenzene)	41
Ethane (ethylene)	80*		

## **Anexo B**

Tabelas de estimativas da dimensão do orifício devido a falhas.

A estimativa da dimensão do orifício de emissão devido a falhas

Tabela GB.3.1 (fonte: CEI 31-35 2012)

Equipamento	Componente	Diâmetro do furo m <sup>2</sup>	S mm <sup>2</sup>
Flange	Junta de fibra comprimida.	2.50E-06	2.50
	Junta espirometálica; Junta Grafoil <sup>R</sup> ; Junta teflon.	2.50E-07	0.25
	Juntas roscadas; Junta em anel metálico.	5.00E-07	0.50
Válvula manual Auto ON-OFF	∅ Tubulação ≤ 150 mm	2.50E-07	0.25
	∅ Tubulação ≤ 1500 mm	2.50E-06	2.50
	Uso intensivo, qualquer diâmetro.	2.50E-06	2.50
Válvula regulação automática.	Vedação da haste com empanque.	2.50E-06	2.50
	Vedação da haste com fole	2.50E-07	0.25
Válvula de segurança; Disco de rutura; Guarda hidráulico.	Para SV sem vedante entre a sede e o obturador (a variação depende da pressão do processo).	1E-6 a 0,25E-6	0.25
Bombas centrífugas com vedantes mecânicos.	Com vedação mecânica, sem o anel.	2.50E-05	25.00
	Com vedação mecânica equipado com anel.	5.00E-06	5.00
	Lascar ou arranhar o anel de vedação.	10 x o diâmetro da perda estrutural.	
Compressores alternativos	Emissões das juntas e outros pontos da camara.	1E-6 a 5E-6 por defeito: 2,5E-6	2.50
Compressores centrífugos d=150mm	Com vedação tipo labirinto livre	5.00E-06	5.00
	Com anel flutuante	1.00E-06	1.00
Ligações pequenas	Ligação da instrumentação de processo.	0,1E-6 e 1E-6 por defeito: 0,25E-6	0.25



Orifícios devido a defeitos dos principais componentes e equipamentos.

Tabela GE-1.4.2 (fonte: CEI 31-35-A 2012)

	Descrição	S (mm <sup>2</sup> )
a)	Flanges de aço tipo RF (raised face), em conformidade com a norma EN 1759-1 com a junta em espiral, metaloplastica, não metálico inserção de grafite flexível com anéis anti-extrusão e selos de contenção ou similar.	0.25
b)	Flanges de aço tipo RF (raised face) e do tipo plano de acordo com a EN 1092-1 com junta em espiral, metaloplastica, inserção de grafite flexível não metálico com anéis anti-extrusão e selos de contenção ou similar.	0.25
c)	Flanges de aço tipo RF (raised face), em conformidade com a norma EN 1759-1, com conceção de vedação (fibras de aramida com invólucro PTFE, etc.) ou vedação semelhante.	0.25
d)	Flanges de aço tipo RF (raised face) e do tipo plano, de acordo com EN 1092-1, com conceção de vedação (fibras de aramida com invólucro PTFE, etc.) ou vedação semelhante.	0.25
e)	Flanges de aço RJ (ring-joint), que está em conformidade com EN 1759-1, com anel de vedação na metade do metal, ligações roscadas toroidal ou macho-femea (por exemplo, tubos e mangas).	0.1
f)	Engates de libertação rápida para as armadilhas, filtros de linha por ponto de gás e esgoto, com vedação O-ring.	0.25
g)	Toma manométrica e aberturas para instrumentação equipado apenas com tampas roscadas.	0.1
h)	Ligações de pequeno diâmetro (por exemplo, acessórios de instrumentação). NOTA: As ligações com rosca com junta interposta entre os fios, que não estão sujeitos ao estresse térmico cíclico > 100 ° C, não são considerados fontes de emissão, desde que raramente aberta (ver EN 1127-1 - App B).	0.1
i)	Válvulas de interceção com corpo flangeado ou soldadas de acordo com EN 14141 i1) com vedação na haste com enchimento para o serviço de uso geral; i2) com vedação na haste com enchimento para o serviço de uso intensivo; i3) com vedação na haste com enchimento para o serviço de uso agressivo; i4) com vedação na haste com graxa ou O-ring .	0.25 2.5 2.5 0.25
j)	Válvulas de controlo com piloto e de auto-regulação (reductor).	0.25
k)	Válvulas de controlo a globo com vedação na haste em O-Ring ou Teflon e com comando posicionador.	2.5
l)	Válvulas de controlo em esfera com posicionador de controlo.	0.25
m)	Válvulas de controlo a axial com posicionador de controlo.	0.25

## **Anexo C**

Tabelas de estimativas de emissões estruturais.

Estimativa de emissão estrutural

Tabela GB.3.3-1 (fonte: CEI 31-35-2012)

Componente	Tipo de substância	Emissão estrutural Kg.S <sup>-1</sup>
Juntas (flange ou rosca) acessórios de tubulação	Gás	1.90E-08
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	2.10E-08
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	5.20E-10
	Gás e /ou produto petrolífero em plataforma marítima (offshore)	3.00E-09
Válvulas manuais e automáticas (Excluindo válvulas de segurança e de libertação para a atmosfera)	Gás	5.60E-07
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	1.00E-07
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	1.00E-09
	Gás e /ou produto petrolífero em plataforma marítima (offshore)	1.10E-07
Respiradouros, drenos, esgotos e amostra retirada de válvulas intercetoras (Excluindo válvulas de segurança e de libertação para a atmosfera)	Gás	5.60E-08
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	1.80E-07
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	5.00E-09
	Gás e /ou produto petrolífero em plataforma marítima (offshore)	5.10E-08
Respiradouro com válvula de segurança fechado <sup>(3)</sup> , válvulas de libertação para a atmosfera fechada, vedação de bombas e compressores, escotilhas, câmaras de visita, braços de carga e qualquer outro componente.	Gás	1.50E-06
	Produto petrolífero leve <sup>(1)</sup>	5.20E-07
	Produto petrolífero pesado <sup>(2)</sup>	3.00E-09
	Gás e /ou produto petrolífero em plataforma marítima (offshore)	5.40E-07
(1) Produtos com uma densidade inferior a 934 kg/m <sup>3</sup> a 15 ° C; (2) Produtos com uma densidade superior a 934 kg/m <sup>3</sup> a 15 ° C; (3) Para as válvulas de segurança ver a tabela GB.3.2-2		

Tabela GB.3.3-2 Vedação exterior. (fonte: CEI 31-35-2012)

Válvula de segurança	Pressão de Operação MPa	Fuga máxima admissível Kg . s <sup>-1</sup>
Válvulas com orifício de descarga com diâmetro ≤ 7,8 milímetros	0,103 - 6,896	1.40E-07
	10.3	2.20E-07
	13	2.80E-07
	17,2 - 41,4	3.60E-07
Válvulas com orifício de descarga com diâmetro > 7,8 milímetros	0,103 - 6,896	7.10E-08
	10.3	1.10E-07
	13	1.40E-07
	17.2	1.80E-07
	20.7	2.20E-07
	27.6	2.80E-07
	38.5	3.60E-07
	41.4	3.60E-07

## **ANEXO D**

### Checklist ATEX

Riscos de Explosão	S/N	Medidas	S/N	Observações
<b>Geral</b>		<b>Medidas que limitam ou impedem a ocorrência de atmosferas explosivas perigosas.</b>		
• Estão presentes substâncias inflamáveis (gases, vapores, poeiras)?		• Substituir substâncias inflamáveis por não inflamável ou menos inflamáveis.		
• É possíveis a ocorrência de misturas explosivas para a quantidade disponível de ar (estimativa das fontes e quantidade de atmosfera explosiva)?		• Limitar as quantidades de materiais armazenados em locais de trabalho ao mínimo necessário para o normal progresso do trabalho.		
		• Guardar em lugares seguros os resíduos intermédios presentes no final do trabalho / turno.		
• É possível a ocorrência de atmosfera explosiva perigosa?		<b>A prevenção ou limitação de atmosferas explosivas no interior do sistema ou parte do sistema através:</b>		
		- Limitação da concentração;		
		- Inertização.		
		<b>Prevenção ou limitação de atmosfera explosiva nas proximidade de sistemas e componentes do sistema por:</b>		
		- Sistema apertado de segurança.		
		Sistemas de extração:		
		- Para os gases: ventilação (natural ou forçada);		
		- Para a poeira: medidas para eliminar depósitos.		
		• Monitorização da concentração dos gases.		
• A ocorrência de atmosferas explosivas perigosas são impedidas pelas seguintes medidas?		• Prevenção ou limitação da ignição em atmosferas explosivas perigosas.		
		• Avaliação da probabilidade e duração da ocorrência de atmosferas explosivas perigosas (classificação em zonas)		
		• De acordo com a classificação das zonas, dispositivos, componentes elétricos e não elétricos devem ser selecionados de acordo com as categorias dos equipamentos correspondentes.		

Riscos de Explosão	S/N	Medidas	S/N	Observações
● A ignição de atmosferas explosivas perigosas é seguramente impedida com as seguintes medidas?		Medidas de proteção contra explosão, limitando os seus efeitos a um nível inofensivo:		
		- Equipamento resistente à explosão;		
		- Painéis de explosão;		
		- Supressão de explosão;		
		- Isolamento da explosão, em combinação com as medidas anteriores.		
Fontes de ignição				
● Estão fontes de ignição presente?		● Prevenção de riscos de ignição efetivas dentro das zonas perigosas		
Riscos de ignição por:		- Proibição de fontes de ignição na área de trabalho de substâncias facilmente inflamáveis;		
● Chamas ou gases quentes (por exemplo, fumar, fogo, chamas vivas, soldagem e corte)		- Evitar fontes de ignição e proibir foguear, chamas vivas e fumar.		
● Faíscas geradas mecanicamente (por exemplo, durante o desgaste, fricção e martelamento)		● Faíscas geradas mecanicamente podem ser limitado pelo arrefecimento a água no ponto de moagem ou pela seleção das combinações de materiais mais favoráveis.		
● Sistemas elétricos (por exemplo, interruptores, relés)		● Selecione equipamento elétrico adequado (por exemplo, ATEX 95).		
● Superfícies quentes (por exemplo, secador, aquecimento, condutas de calor, devido à fricção e maquinaria)		● Monitorização e limitação da temperatura das superfícies quentes.		
● Eletricidade estática, (por exemplo, resultante do atrito, transporte pneumático, fluxo de líquidos)		● Dissipação de cargas através do uso de materiais condutores e por medidas de ligação à terra.		

Riscos de Explosão	S/N	Medidas	S/N	Observações
<b>Manutenção preventiva</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabalho a quente (por exemplo, rebarbar, cortar com maçarico, soldar) em áreas com potenciais riscos de explosão (general)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Eliminar substâncias inflamáveis móveis e remover os depósitos de poeira, se necessário.</li> </ul>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manter a área limpa, limpeza regular no trabalho por meio de equipamentos e materiais de limpeza adequados.</li> </ul>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção regular de equipamentos elétricos e mecânicos, seguindo as instruções do fabricante</li> </ul>		

